



EESTI MAAÜLIKOOL

Tartu Tehnikakolledž

Armand Pellja

PULVERISAATORTOITESÜSTEEM MOOTORSÕIDUKILE

PULVERIZER FUEL SUPPLY SYSTEM ON CAR ENGINE

Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö

Tehnotroonika õppekava

Juhendaja: Risto Ilves, PhD

Tartu 2017



Estonian University of LifeSciences		Rakenduskõrghariduse lõputöö	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Lühikokkuvõte	
Autor: Armand Pellja		Õppekava: Tehnotroonika	
Pealkiri: Pulverisaatortoitesüsteem mootorsõidukile			
Lehekülgi: 41	Jooniseid: 12	Tabeleid: 1	Lisasid: 4
Osakond: Tehnikakolledž			
Uurimisvaldkond: Mehhatroonika			
Juhendaja: Risto Ilves			
Kaitsmiskoht ja –aasta: 2017 Tartu			
<p>Eesti Maaülikooli tehnikainstituudis on väljatöötatud patenteeritud lahendus: pulverisaatortoitesüsteem, mille eesmärk on tagada kvaliteetne küttesegu mootorile. Nimetatud lahendust ei ole varasemalt paigaldatud sõiduautole, mis võimaldaks uurida toitesüsteemi töö mõju mootorile ekspluatatsioonis. Töö sisaldab sisepõlemismootorite kütuste kasutamise analüüsi, annab ülevaate biokütuste kasutamise võimalikkusest sisepõlemismootoris ja tutvustab pulverisaatortoitesüsteemi. Eesmärgi täitmiseks projekteerib ja valmistab töö autor vajalikud detailid, et paigaldada olemasolev pulverisaatortoitesüsteem sõiduauto Opel Vectra mootorile. Autor projekteerib ja konstrueerib sobilikud detailid, lisab autole suruõhuliini ning teostab mootori programmeerimise juhtmooduliga Megasquirt2. Võimaldamaks edasist uurimistööd eelmainitud sõidukiga, viiakse läbi eelkatsetused sõiduauto Opel Vectra tehaseseadmetega. Projekti tulemusel on võimalik uurida sisepõlemismootori tööd pulverisaator toitesüsteemi kasutamise korral.</p>			
Märksõnad: Megasquirt2, Pulverisaatortoitesüsteem, suruõhuliin autos, biokütused, Sisepõlemismootor.			



Estonian University of LifeSciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Armand Pellja		Speciality: Technotronics	
Title: Pulverizerfuelsupplysystem on passangercarengine			
Pages:41	Figures:12	Tables:1	Appendixes:4
Department: TechnologyCollege Field of research: Mechatronics Supervisors: Risto Ilves Place and date: Tartu 2017			
<p>The aim of this Project is to prevent fuel crisis. Productions depend too much on the fossil fuels and so on Earth's fuel reserves will end. The search for alternative energy source is very active. In this project, the author will mount pulverizing fuel supply system for the Spark Ignition Engine with necessary components in order to get pulverizing fuel supply system running. In this Project the author will analyze the possibilities for alternative biofuel usage in car internal combustion engine.</p> <p>Estonian University of Life Sciences Institute of Technology has been developing Pulverizer fuel supply system for internal combustion engine. This technical solution is for alternative biofuels to mix better with oxygen for the burning process. The Pulverizing fuel supply system will provide the Intake collector with good fractionized fuel mixture. This engine rebuild is done on old Opel Vectra A with engine code C18NZ. By the end of building the car will have on-board compressor adjusted and two fuel pumps for pulverizing fuel supply system. The engine is controlled and adjusted with Megasquirt2.</p>			
Keywords: Pulverizer fuel supply system, internal combustion engine, biofuels, on-board compressor, Megasquirt2.			

TÄHISED JA LÜHENDID

ECU – Engine control unit – Mootori juhtmoodul

CNC – Computer numerical control – Arvjuhitav tööpink

VR – Variable reluctance – Magnetvälja muutusele reageeriv andur

MS – Megasquirt – Programmeeritav mootori juhtmoodul

MAP – Manifold absolute pressure – Kollektoris valitsev rõhk

TPS – Throttleposition sensor – Gaasipedaali asendi andur

SISUKORD

TÄHISED JA LÜHENDID	4
1 SISEPÕLEMISMOOTORITE TOITESÜSTEEMID	6
1.1 Töö eesmärk ja ülesanded	6
1.2 Sisepõlemismootor ja tänapäevased toitesüsteemid	7
1.3 Karburaatoritoitesead	9
1.4 Pulverisaatoritoitesüsteemi ehitus ja tööpõhimõte	10
2 BIOKÜTUSTE KASUTAMINE SISEPÕLEMISMOOTORIS	15
2.1 Biokütusest üldiselt	15
2.2 Biodiislikütus	15
2.3 Alkoholipõhised biokütused	16
3 KATSEOBJEKT JA KATSETUSTE ETTEVALMISTAMINE	17
3.1 Katseobjekt	17
3.2 Pulverisaatoritoitesüsteemi ettevalmistamine	17
3.3 Eelkatsetuste ettevalmistamine	19
4 KATSEANDMED JA PULVERISAATORTOITESÜSTEEMI KONSTRUEERIMINE MOOTORILE	21
4.1 Opel Vectra katseandmed tehaseseadistusega	21
4.2 Pulverisaatoritoitesüsteemi paigaldamine mootorile	24
4.2.1 Abidetailid	24
4.2.2 Suruõhu liin	28
4.3.1 Juhtmoodul Megasquirt2	33
4.3 Analüüs	36
5 KOKKUVÕTE	38
KASUTATUD KIRJANDUS	39

1 SISEPÕLEMISMOOTORITE TOITESÜSTEEMID

1.1 Töö eesmärk ja ülesanded

Lõputöö eesmärk on paigaldada pulverisaatoritoitesüsteem sõiduauto mootorile. Töö käigus projekteeritakse ja konstrueeritakse vajalikud detailid pulverisaatoritoitesüsteemi paigutamiseks sõiduauto mootorile. Katseobjektiks on valitud 1992 aastal toodetud Opel Vectra mootrikoodiga C18NZ. Pulverisaatoritoitesüsteem võimaldab biokütuste kasutamist sädesüütega mootori töös. Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudis on väljatöötatud ja patenteeritud tehniline lahendus, mis seisneb vastastikku asetsevate kütuse dosaatorite karbureerimisseadme kasutamises sisepõlemismootori toitesüsteemis. Seda nimetatakse pulverisaatoritoitesüsteemiks ja selle tehnilise lahenduse eesmärgiks on kvaliteetse küttesegu moodustamine biokütustest. Seadme tööpõhimõtteks on suruõhuga segunenud kütusejegade üksteise vastu pihustamisega peenefraktsioonilise ning homogeense küttesegu valmistamine. Pulverisaatoritoitesüsteemi kasutamiseks sädesüütega mootoril annab töö autor muuhulgas ülevaate pulverisaatoritoitesüsteemi konstrueerimisest sädesüütega mootorile, katseobjekti esialgset tehnilist seisundist, katse ettevalmistusest, projekteerimisest ning teeb tulemustest kokkuvõtte.

Lisaks eelnevale tutvustab autor biokütuste kasutamist sisepõlemismootoris.

Töö eesmärgi saavutamiseks on püstitatud järgmised ülesanded:

- 1) anda ülevaade biokütuste kasutamisest sädesüütega mootorites
- 2) anda ülevaade katseobjekti esialgsest tehnilisest seisundist
- 3) anda ülevaade pulverisaatoritoitesüsteemi tööpõhimõttest ja ehitusest
- 4) katseseadmete ettevalmistus mõõtmiste läbiviimiseks
- 5) teostada katsed mootorsõiduki efektiivsus- ja ökonoomsusparameetrite mõõtmiseks katseobjekti tehaseadistusega
- 6) projekteerida ja konstrueerida detailid pulverisaatoritoitesüsteemi ja abiseadmete paigaldamiseks mootorile
- 7) paigaldada pulverisaatoritoitesüsteem koos juhtseadmetega sõidukile
- 8) sõiduki mootori seadistamine pulverisaatoritoitesüsteemi kasutamisel
- 9) katseandmete analüüs ja järelduste tegemine.

1.2 Sisepõlemismootor ja tänapäevased toitesüsteemid

Sisepõlemismootor on soojusmootor, mis konverteerib põletamise teel kütuse keemilise energia soojusenergiaks ja muundab selle omakorda mootori kolvi kaudu mehaaniliseks energiaks. Põlemine toimub mootori silindri sees, sellest tulenevalt ka nimetus - sisepõlemismootor.

Põlemisprotsessiks on vajalik õhk. Mootoribensiini täielikukspõlemiseks 1 kg kohta kulub 14.7 kg õhku. Efektiivseks põlemisprotsessiks on vajalik stöhhiomeetriline küttesegu ehk õhu- ja kütuse tasakaal.

Sädesüütega mootorites on kütuse- ja sisselaskesüsteemi ülesandeks moodustada õige koostisega küttesegu, mis vastaks mootori vajadustele vääntvõlli pöörlemissageduse ulatuses. Küttesegu peab täielikult ära põlema. Mootor töötab vastavalt küttesegu tasakaalu kogusele. Kui õhumass põlemiskambris on väiksem kui ideaalne, nimetatakse segu rikkaks seguks.

Lahja kütuse segupuhul on õhku kütusesegus rohkem, kui ideaalseks põlemiseks vaja. Küttesegu kasutamisel tuleb arvestada muutuvate töötingimustega: mootori temperatuur, pöörlemissagedus, välisõhu temperatuur, koormus. Erinevatel koormustel on vajalik erinev küttesegu.[1] Lahja kütusesegu tähendab, et mootor töötab ökonoomsemalt, heitgaaside hulk on väiksem. Väike õhu ülejääk põlemiskambris tagab segu täieliku põlemise, samas suureneb põlemisgaaside temperatuur ning võimalus mootori ülekuumenemiseks.

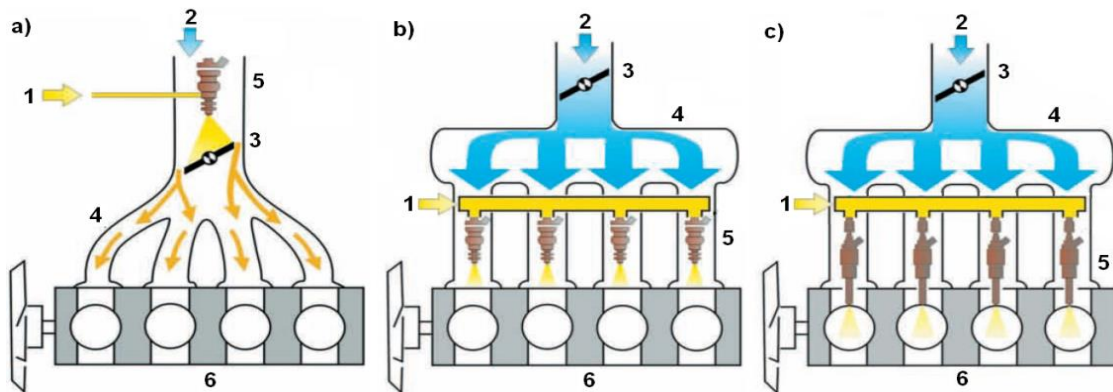
Küttesegu moodustamise viisi järgi jagatakse sisepõlemismootori toitesüsteemid kaheks: küttesegu sisemise moodustamisega mootorid ja küttesegu välimise moodustamisega mootorid.

Sisemise segumoodustusega mootoritel pritsitakse kütus otse põlemiskambrisse. Vahetult enne süütamist ei jõua kütus ja õhk korralikult seguneda, kütusesegu jääb heterogeenseks ehk ühetaoliseks. Heterogeenne kütusesegu on ebakvaliteetne.

Välimise küttesegu moodustamise tulemuseks on kogu põlemiskambris olev segu ühtlase koostisega. Homogeense küttesegu saavutamiseks peab olema piisavalt aega. Selline olukord on võimalik lõõrpritsiga või varase pritsungiga sisselaskekollektori torustikku.[16:248]

Nii sisemise- kui ka välimise toitesüsteemi põlemisprotsessi tekkeks kasutatakse pritsesüsteeme. Pritsesüsteemide illustreerimiseks on lisatud joonis 1.1, kus selgitatakse monopritsi (joonis a), hargpritsi (joonis b) ja otsepritsi (joonis c) töö põhimõtteid.

Lõõrpritse ehk monopritse on kõige vanem ja lihtsam tüüpi sisepõlemismootorites kasutatav kütusepritsesüsteem, kus kütus ja õhk segunevad väljaspool põlemiskambrit. Monopritse korral pihustatakse kütus enne seguklappi. Kütuseudu aurustub sisselaskekollektoritorustiku seintel. Tegelik segunemisprotsess õhuga tekib silindri sees. Monoprits toitesüsteemi sisselaskekollektori kanalite eripikkuste ja hargnemiskohtade tõttu ei jagune mootorikütus ühtlaselt kõikide silindrite vahel võrdselt. Äärmiste silindriteni on pikem vahemaa. Keskmised kaks silindrit saavad rohkem kütust, kui äärmised silindrid. Kütus, mis peaks jõudma äärmiste silindriteni aurustub sisselaskekollektori seintel, eriti külma mootori korral. Aurustunud kütus on gaasilises olekus, mis tekitab ohu detoneerimisele ja jääb vähem ruumi õhule kütusega segunemiseks. Mootorikütus on ebakvaliteetne monoprits toitelahendusega. Ehituselt lihtne kütuse toitesüsteem.



Joonis 1.1: Pritsesüsteemid : a) Monoprits, b) Hargprits, c) Otseprits [5]

Hargpritsesüsteemi korral asetseb igale silindrile eraldi pihusti sisselasketorustikus, sisselaskeklapi ees. Selline asetus võimaldab kütuse ühtlase jaotumise ja küttesegu teekonnad silindrisse on võrdselt pikkustega. Pihustamine toimub, kui klapiid on avatud olekus. See aitab kütust kokku hoida. Hargprits alla liigitub ka otseprits, kus kütus pritsitakse kõrge rõhu all elektriliselt juhitavate pihustite kaudu otse põlemiskambris. Põlemiskambris moodustub kütusest ja imetud õhust küttesegu.

Lambda anduri ülesanne on väljalasketakti ajal väljuva hapniku koguse määramine heitgaasides. Lambda andur reguleerib küttesegu. Lambda andur reageerib kiiresti hapniku muutusele heitgaasides ja teeb seda koostöös juhtploki (reageerib juhtploki poolt muudetud küttesegu koostisele). Pöörete tõustes läheb mootori vääntvõlli töösagedus üha kiiremaks. Kui juhtmoodul tuvastab läbi mootori temperatuuri anduri külma mootori, juhitakse silindrisse rikastatud küttesegu. Mida soojemaks muutub mootori temperatuur,

sesta rohkem ühtlustub mootoribensiinipõlemiseks sobilik tasakaal (14.7:1). Monopritset juhitakse seguklapi- ja lambda anduri abil.

Sisemise küttesegu moodustamisel peab pritseseadme elektrooniline reguleerimine olema väga täpne.

Sisemisel küttesegu moodustamisel kasutatakse samuti lambda andurit, kuid kütus pihustatakse läbi elektrooniliselt juhitavate pihustite kaudu kõrge rõhu all otse põlemiskambrisse.

Elektrooniliselt juhitavad sissepritsesüsteemid võeti kasutusele pärast karburaatoritoitesüsteeme. Elektrooniline pritse võimaldab pihustamist rõhu all olevate kütusepihustitega, muutes kütuse peeneks uduks. Suurenenud pindalaga udukütus aurustub kiiresti ja seguneb õhuga. Ühtlase segumoodustamise korral määrab seguklapi asend mootoris tuleva õhukoguse. Seguklapi ees olev andur fikseerib mootoris siseneva õhukoguse. Mootori pöörlemissageduse ja õhukoguse põhjal võrdleb juhtmoodul (ECU) tarnitud informatsiooni kodeeritud siseväärtustega ja arvutab välja põhipritsekoguse pihustites. Põhipritsekoguse leidmiseks arvestab juhtmoodul mootori koormuse ja pöörlemissagedusega. Vastavalt väärtvõlli pöörlemissagedusele saab juhtmoodul informatsiooni lisaanduritelt, mille tulemusel kohandatakse küttesegu vastavaks. Sellise toitesüsteemiga kütus jaguneb võrdselt silindrite vahel ega kondenseeru sisselaske kollektori kanalitel [16:252].

1.3 Karburaatoritoitesead

Esimesed sädesüütega mootorid kasutasid toitesüsteemina karburaatorit. Vastavalt mootori koormusrežiimile peab karburaatoris tekitatud alarõhk kohandama sobiliku segukoguse. Mootori efektiivseks töötamiseks on vajalik küttesegu õige tasakaal. Ottomootoris valmistatakse küttesegu kahel meetodil:

- 1) karburaatoriga.
- 2) elektrooniliselt juhitavate sissepritsesüsteemidega.

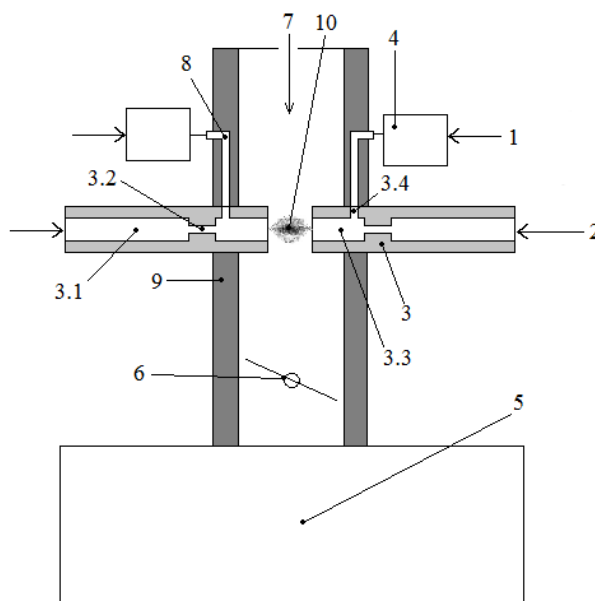
Karburaator on autotööstuses vanemat sorti lahendus, kuid endiselt kasutatakse seda näiteks motorolleritel, muruniidukitel ja teistel lihtsamat tüüpi põlemisega mootoritel. Karburaatori ülesanne on küttesegu valmistamine. Karburaator peab pihustama kütust ja segama õhuga õiges vahekorras.

Karburaatori tööpõhimõte seisneb Bernoulli võrrandis [28], kus sisselasketakti ajal imeb mootori kolb õhukoguse karburaatorisse. Sisse imetud õhujoa kiirus suureneb kitsenevas ristlõikega segukoonuses. Sisselaske õhu-kütuse segu tekitab kaasa languse sisselasketorustiku surves, mille tulemusena õhku tõmmatakse läbi karburaatori. Edasi liigub küttesegu silindrisse.[17]

1.4 Pulverisaatortoitesüsteemi ehitus ja tööpõhimõte

Pulverisaatortoitesüsteem on Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudis välja töötatud ja patenteeritud tehniline lahendus alternatiivkütuste ja vedelate fossiilkütuste kasutamiseks sisepõlemismootoris. Pulverisaatortoitesüsteemi eesmärgiks on sõiduki mootorit varustada kvaliteetse kütteseguga. Tagamaks mootori ühtlase töö, peab pulverisaatortoitesüsteemi seadistama doseerimaks küttesegu silindrisse vastavalt mootori kiirus- ja koormusrežiimidele.

Alljärgnev skeem illustreerib pulverisaatortoiteseadet ehitust.

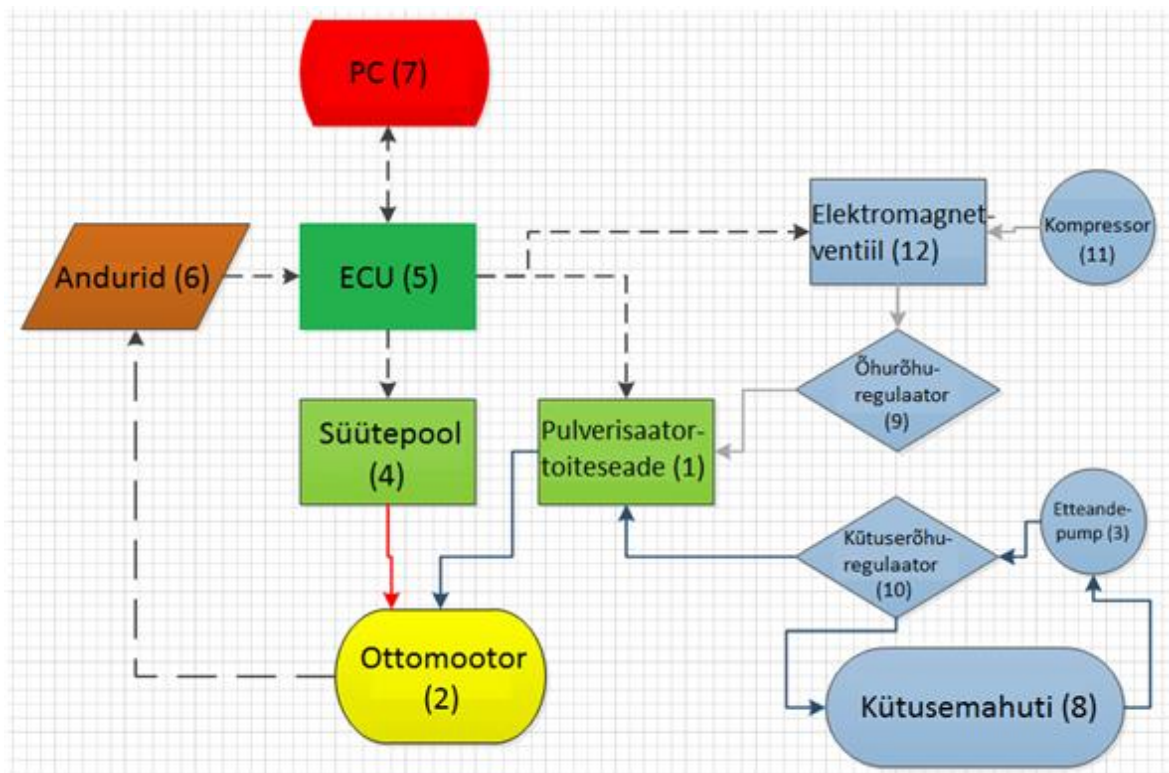


Joonis 1.2 Pulverisaatortoiteseadet sisepõlemismootoril: 1 – mootorikütus; 2 – suruõhk; 3 – pihusti; 3.1 – suruõhu sisendkanal; 3.2 – pihusti düüs; 3.3 – väljundkanal; 3.4 – kütuse sisendkanal; 4 – kütuse dosaator; 5 – sisepõlemismootor; 6 – seguklapp; 7 – imetav õhuvool; 8 – kütuse pealevooluliin; 9 – toiteseadme korpus; 10 – põrkunud kütusejoad.[8]

Pulverisaatortoitesüsteemi tööpõhimõte on järgnev. Pulverisaatortoitesüsteemis toimub kütuse pihustamine suruõhuga. Pihustist 3 liigub läbi suruõhk, mis läbib suruõhu

sisendkanalit 3.1 liikudes pihusti düüsi 3.2, kus toimub Bernoulli efekti kohaselt äkiline tõus õhuvoolu kiiruses. [6] Kiirevooluline suruõhk jätkab liikumist väljundkanalisse 3.3, mis tekitab kütuse sisendkanalis 3.4 Ventuuri efekti mõjul hõrenduse [7] sundides kütust voolama läbi kütuse pealevooluliini 8 pihusti väljundkanalisse 3.3 Kütuse koguse täpseks määramiseks pulverisaatoritoitesüsteemis kasutatakse dosaatoreid 4, mis määrab kütuse etteande koguse impulss-laius signaaliga. Dosaatori täitetegur sõltub sisselaskekollektoris olevast alarõhust ja vāntvõlli pōōrlemissagedusest. Esmane kütuse ja õhu karburatsioon toimub väljundkanalis 3.3. Kōrge toiterōhk kooskōlas vāiksemōōtmelise pihusti düüsiga 3.2 saavutavad väljundkanalis 3.3 suure õhuvoolukiiruse, mis tagab kvaliteetse, peenefraktsioonilise pihustuse. Edasine küttesegu liigub läbi segusiiberklapi sisselaskekollektori kanalitesse. Mootorisse suunduva õhuhulga määrab segusiiberklapi asend.

Jārgnev skeem kirjeldab pulverisaatoritoitesüsteemi tōōpōhimōtet.



Joonis 1.3 . Pulverisaatoritoitesüsteemi tōōpōhimōtet kirjeldav plokkskeem [8]

Kütuse rõhku kütusetorustikus tekitab kütuse etteandepump. Rõhku reguleeritakse kütuserõhuregulaatoriga. Kütus liigub konstantsel rõhul pulverisaatoritoitesüsteemi dosaatoriteni. Üleliigne kütus voolab mööda tagasivoolutrassi kütusemahutisse tagasi. Dosaatorid määravad mootori tōōrežiimist sõltuvalt kütuse etteande koguse

pulverisaatortoitesüsteemi pihustitesse. Vastastikused pihustid asetsevad 11mm kaugusel. Pulverisaatortoitesüsteemis on kasutusel 2.0 Opel mootori modifitseeritud pihustinõelaga läbilaskevõimega 199 cm³ x min⁻¹ pihustid. [3]. Dosaatorid on kiirekäigulise elektromagnetklapiga varustatud, mis võimaldavad täpse kütuse etteande kogusemääramist vastavalt hetkelisele koormusrežiimile.

Dosaatorite lahtioleku aega kontrollitakse läbi ECU. Spetsiaalse tarkvaraga varustatud personaalarvutiga on võimalik vaadelda ja seadistada ECU mootori vajadusele vastavaks. Käesoleva töö puhul on kasutusel juhtseade MegaSquirt II (MS), mis võimaldab väga paindlikult juhtida ja seadistada sisepõlemismootori tööd. MS on kasutusele võetud sellepärast, et projekti tingimuseks on ära kasutada olemasolevaid seadmeid.

Pihustamiseks kasutatav suruõhk saavutatakse kompressoriga. Kütusepumba käivitamise ja vāntvõlli pōōrlemisega avaneb elektromagnetventiil, mis suunab kompressorist tuleva suruõhu läbi seadistatud rõhuregulaatori pulverisaatortoitesüsteemi pihustitesse. [3]

Pulverisaatori korpusesse 9 on paigaldatud kaks paari vastastikku paiknevat pihustit. Taoline asetus peaks teoreetiliselt tagama küttesegu parema segunemise pōōrgatades pihustunud küttesegu segusiiberklapi ees keskel. Vastastikune asetus võimaldab sisepõlemismootori töö jaoks parema erinevat tüüpi kütuste segamist. Vastastikuse asetuse puhul ei ole mõislik suvalises vastavuses kütuseid pihustada, vaid tuleb jälgida rangelt minimaalset oktaanarvu, et tekiks mootori tööks vajalik põlemine.

Pulverisaatortoitesüsteem tagab mootori töö jaoks peenefraktsioonilise ja kvaliteetse küttesegu, mis võimaldab kokku hoida kütusekulu. [8]

Küttesegu süütamine on oluline aspekt põlemisprotsessi toimimiseks. Süütamine toimub läbi jagaja läbitud pinge kōōnlahuhtmetest sūūtekōōnaldeni. Pulverisaatortoitesüsteemi täpseks juhtimiseks peaks olema eelsūūtenurk juhitud elektriliselt. Küttesegu sūūtib kindlamalt suurema energia suunamisel põlemiskambrisse.

Raisatud sūūitega sūūitesüsteemi on võimalik kasutada paarisarvuga mootorisilindrite korral. Sāde tekitatakse samal hetkel kahele silindrile, sisse- ja vāljālasketakt ehk ūhes silindris toimub sisselaske takt – pihustatakse küttesegu ja teises silindris vāljastatakse heitgaase. Sādet mis tekib vāljālaske takti hetkel, nimetataksegi raisatud sādemega sūūiteks. Pulverisaatortoitesüsteemi toimimiseks on kasutusele võetud Ford Focus Sūūitepool Motocraft 0277A. Raisatud sūūitepooli kasutamine on lihtsam, ning vajab vāhem taitureid korrektseks toimimiseks vōrreldes otsesūūite sūūsteemiga, mis vajab nukkvōlli anduri ja vaheplokk sūūite vōrdeks jagamiseks [8]. Raisatud sūūitega vāljālasketakti silindris toimub sūūütamine, mis pōletab allesjāānud kütusejāāgid.

Pulverisaatortoitesüsteem on välja töötatud eelkõige vedela biokütuse kasutamiseks sädesüütega mootori töös. Pulverisaatortoitesüsteem tagab lisaks peenfraktsioonilisele küttesegule ka kütusekulu kokkuhoiu ja võimaldab erinevate kütuseliikidega katsetamist.

Pulverisaatortoitesüsteemi väljundkanalis toimub väga aktiivne kütuse ja õhu segunemine. Kütus pihustatakse peenfraktsioonilisteks osakesteks, mis kompressori poolt toodetavale kiirele õhuvoolule seguneb ühtlaseks kütteseguks. Mootorisse pihustatava kütuse kogus on juba õhuga ühtlaselt segunenud.

Kompressorist tuleneva suruõhuga juba eelsegatud kütus seguneb omakorda veel läbi õhufiltri tuleneva õhuga (joonis 1.2). Toimib kaheastmeline karbureerumine, mis tagab kvaliteetsema põlemisprotsessi silindris võrreldes heterogeense jämedatilgalise kütteseguga. Peeneks pihustatud küttesegu aitab kokku hoida kütusekulu ning heitgaaside paiskumist atmosfääri.

Lähtudes selle töö sisust, on kõige positiivsem pulverisaatortoitesüsteemi juures asjaolu, et vastastikku asetsevad mootorikütuse sisendid annavad hea eelise katsetamiseks erinevate mootorikütustega. Pulverisaatortoitesüsteem võimaldab efektiivsemat külmkäivitamist biokütustega. Peenfraktsiooniline segu aitab kütusel ja hapnikul kergemini seguneda küttesegu moodustamiseks. Biodiislikütus külmalt on tihkem ja paksem ning ei segune õhuga piisavalt, et tekiks põlemisprotsessiks tarvis segu.

Pulverisaatortoitesüsteemis puuduvad keerulised ja liikuvad mehaanilised sõlmed, millest sõltuks küttesegu kvaliteet. Liikuvad sõlmed seadmes on dosaatorid ja kütusepump.

Väljatöötatud pulverisaatortoitesüsteem ei ole universaalne, seepärast tuleks süsteem enne mootorsõidukile paigaldamist ümber ehitada. Tegemist on prototüübiga, mis vajab spetsiaalset kohandamist erinevates mootorites kasutamiseks.



Joonis 1.4 Opel'i sisselaskekollektori torustik ja segusiiber

Pulverisaatortoitesüsteemi paigaldamine mootorsõidukile nõuab ülemineku flantside projekteerimist segusiiberklapi ja õhufiltri tarvis. Lisaks kinnitused ja kronsteinid erinevate abiseadmete paigaldamiseks mootorile. Segusiiberklapi ja pulverisaatortoitesüsteemi vaheline ala peab olema täielikult õhukindel, et mootor täiendavat õhku ei saaks. Vastasel juhul mootori koormusrežiim muutub.

Sõiduauto pulverisaatortoitesüsteem vajab eraldi mootori juhtimissüsteemi (*ECU*'t), juhtmestikku, andureid. Käesolevas töös kasutatud juhtimissüsteem on MegaSquirt2, mis koos juhtmestikuga maksab ligi 300€. [29] Programmeeritav juhtmoodul vajab täpset seadistamist, et pulverisaatortoitesüsteemi efektiivselt ära kasutada.

Pulverisaatortoitesüsteem vajab suruõhukompressorit. Opel'i baasvarustuses suruõhu allikas puudub. Kompressor vajab omakorda toidet, et genereerida suruõhku. Hüpotetiliselt variandid suruõhu genereerimiseks on:

- 1) Kompressor, mis on võimeline ennast laadima mehaaniliselt ehk läbi mootori küljes olevate agregaatide – rihmülekanne näiteks generaatori rulliku kaudu, mis omakorda tekitab lisakoormust mootorile. Mehaaniliselt laetava kompressori rihmaratas on gabariitmõõtmetelt suur, et rihmal oleks suurem kandepind. Väiksemat rihmaratast kasutades võib rihm rattalt maha libiseda. Rihmarattalt käitava kompressori paigutamisel tekib väljakutse selle mahutamiseks kapoti alla. Lisaks vajab mehaaniliselt laetav kompressor rihma pingutusmehhanismi.
- 2) Suruõhu kompressor, mis on käitav 12 V ehk autoaku pealt.

Kompressori mõju hindamine mootoritööle nõuab edasisist uurimist teistes teadustöodes.

2 BIOKÜTUSTE KASUTAMINE SISEPÕLEMISMOOTORIS

2.1 Biokütusest üldiselt

Biokütused on alternatiivne lahendus energiakriisile. Fossiilsete kütuste hinnad tõusevad ning otsitakse vähem õhusaastet tekitavat energiaallikat. Stabiilne energiavaru on tähtis. Enamus energia ressursse sõltuvad praegu fossiilkütustest, mida on piiratud kogus. Võrreldes fossiilsete kütustega on käideldavus ja taastumine olulised eelised biokütuse kasutamiseks mootoris. Biokütust saadakse biomassi töödeldes. [15] Biokütused on tahked, vedelad ja gaasilised energiaallikad, mis on toodetud taastuvatest orgaanilistest ainetest või saadustest.

Vedelaid biokütuseid looduses töötlemata kujul ei eksisteeri. Vedelate biokütuste alla kuuluvad näiteks biodiislikütus, taimeõli ja etanool, mida iseenesest looduslikult ei esine. Neid saadakse bioloogilise, mehaanilise ja termokeemilise muundamise käigus biomassist ja kasutatakse enamasti veovahendite mootorikütusena. [13]

Gaasilisi biokütuseid looduses samuti ei esine. Gaasilised biokütused saadakse orgaanilise aine anaeroobsel kääritamisel või termokeemilisel töötlemisel. [14]

2.2 Biodiislikütus

Biodiislikütust toodetakse enamasti rapsiõlist. Reageerimisel alkoholiga (etanooli või metanooliga) saadakse ester ehk biodiislikütus. Kõrvalsaadusena tekib glütseriin. [27] Biodiislikütus on tihedam, viskoossem ja suurema pindpinevusega võrreldes tavalise diislikütusega. Biodiislikütuse süttimine tekib viivitusega suurema viskoossuse ja tiheduse tõttu. Tihedamal kütusel on raskem seguneda õhuga. Pihustades biodiisli diislimootoripihustitest põlemiskambrisse tähendab pihustatud tilga venivust, mille tulemusel pihustamisnurk muutub teravamaks biodiisli suurema viskoossuse tõttu. Biodiislikütuse ja hapniku ekvivalentne suhe ei ole saavutatud efektiivseks põlemisprotsessiks. Biodiislikütuse väiksem kütteväärtus on probleemiks mootorimaksimaalse pöördemomendi saavutamiseks. Põhjuseks on diislikütusest madalam oktaanarv. [15] Puhta biodiisli kasutamisel on vaja vahetada mõned diiselmootoriosad

(tihendid, torustik, filter), kuid on võimalik diiselmootoris biodiislikütust kasutada mootorit modifitseerimata. Biodiislikütust on võimalik kasutada ka segatuna tavadiislikütusega. Biodiislikütusel on võrreldes tavadiislikütusega paremad määrimisomadused, mis pikendavad mootori mehhaaniliste sõlmede eluiga. Biodiislikütus leiab kasutust ka katlakütteõlina. [27]

Biodiislikütuse kasutamises sisepõlemismootoris ei paisku atmosfääri niipalju toksilisi heitgaase võrreldes tavalise diislikütusega. Biokütuse jääkained taaskasutatakse ökosüsteemis ära. Biodiislikütus vähendab õhusaasteaineid ja vähki tekitavaid ühendeid. Biodiislikütust maha kallates laguneb see kiiresti looduslikuks orgaaniliseks jäätmeiks. [11]

Bensiini- ja diiselmootorite erinevate tööpõhimõtete tõttu ei ole võimalik käesolevas projektis kasutada biodiislikütust Opelil mootori kütusena, kuna diiselmootor kasutab kompressioonil põhinevat plahvatust. Opelil mootor kasutab sädesüütega küttesegu süütamist.

2.3 Alkoholipõhised biokütused

Sisepõlemismootoris kasutatakse valdavalt alkoholi põhiseid biokütuseid. Kuigi alkoholi põhistel kütustel ei ole häid määrimisomadusi, kütusega kokkupuutuvad detailid võivad korrosiooniga kahjustuda ning mootori külmkäivitamisega võib tekkida probleeme. Alkoholipõhised biokütused on kõige enam kasutatav alternatiivbiokütuse liik. Sädesüütega mootoris on biokütus kasutusele võetud kui taastumatu energiaallika võimalik asendaja. Etanooli ja metanooli kasutatakse nii puhaste kütustena kui ka segatuna mootoribensiiniga. Metanool on etanoolist korrodeerivam, ning võib mootoris olevaid metallist detaile kahjustada; metanool on ka mürgisem, ning ei oma nii suurt energiaväärtust. Etanooli segatakse bensiiniga etanooli kõrge oktaanarvu tõttu. Kuni 10% etanooli sisaldav mootoribensiin sobib tavalisele bensiinimootorile. Kõrgema etanoolisisaldusega bensiini korral vajab mootor ümberseadmist ehk modifitseerimist.

Alkoholi põhiseid biokütuseid saadakse kääritamise tulemusel. Kõige populaarsem tooraine on näiteks suhkruroog, millele järgneb maisi-tärklis. Alkoholi põhise kütuse kasutamisel sisepõlemismootoris tekib suletud süsinikringe ehk CO₂, mis tootmise ja põlemise ajal taaskasutatakse taimede poolt. Selle biokütuse kasutamise tagajärjel ei halvene õhu kvaliteet.

3 KATSEOBJEKT JA KATSETUSTE ETTEVALMISTAMINE

3.1 Katseobjekt

Katses kasutatav Opel Vectra (1992) on neljauksega sedaankerega esiveo sillaskeemiga sõiduauto. Auto jõuallikas on 1796 cm³ kubatuuriga, nelja silindriline, ühe nukkvõlliga sisepõlemismootor, mille maksimaalne väljundvõimsus on 66 kW ja pöördemoment 145 N*m väntvõlli pöörlemissagedusel kolm tuhat p/min. Opel Vectral (edaspidi Opel) on viiekäiguline manuaalkäigukast.

Opel oli vanuse ja pikaajalise kasutuse tõttu kulunud ja tehnilisi probleeme esines palju. Enne projektiga alustamist oli vaja teha mitmeid parandustöid. Vanusega muutuvad kummist voolikud rabadaks ja hakkavad murenema. Opeli mootori kummivoolikud olid halvas konditsioonis, seetõttu tuli vahetada esmalt mootori jahutuseks vajaliku kummivooliku, sest see lekkis. Jahutusvoolik ulatus mootorist salongiradiaatorini. Katseid tuleb teha mootori madalatel ja kõrgetel pööretel, seetõttu on töökorras mootori jahutussüsteem hädavajalik.

Järgmine töö oli Opeli mootori töö stabiilsuse saavutamine, sest see töötas ebaühtlaselt. Autor puhastas süütesüsteemi detailid – küünlad, küünlajuhtmed, jagajakaane, rootori. Puhastamine tulemust ei andnud - mootoritöö ühtlaseks ei muutunud. Seejärel ostis ja vahetas autor nimetatud osad uute vastu. Pärast uute varuosade paigaldamist mootoritöö muutus küll paremaks, kuid oli jätkuvalt ebaühtlane. Töö tegija otsustas kontrollida kütuserõhku. Mõõtes kütuse tagasivoolutrassist kütuserõhku, oli rõhk süsteemis lubatud 1 bar asemel 2.5 bar. Mootori ebaühtlase töö põhjustas bensiinipaagis olev kummist voolik, mis oli kahekorra käärdunud. Kütusepumba töötamisel põhjustas kõrgekütuserõhk mootori ebaühtlase töö. Autor lõikas vooliku lühemaks ja kinnitas korrektselt paagis olevametalltoru külge. Seejärel hakkas Opeli mootor korralikult tööle.

3.2 Pulverisaatortoitesüsteemi ettevalmistamine

Taavi Põri magistritöös modifitseeritud dosaatorid lekkisid originaal dosaatori korpuse stantsipuudumise tõttu kütust. Töös kasutatavad dosaatorid on eelnevalt lahti võetud eesmärgil modifitseerida läbilaskevõimet.

Käesoleva töö raames autor parandas lekke dosaatorite flantsi kokkujootmisega ja paigaldas paksemad O-rõngad.

Kuna bensiinkütus on väga kergesti süttiv lõhnatu vedelik, peab olema konstruktsioon täielikult lekkekindel ja ohutu katsetajale. Pärast dosaatori korpuse kokku jootmist on konstruktsioon ohutu ja lekkekindel.

Originaal varuosa puudumise tõttu kasutasin kütuse dosaatornõela liikumise jaoks Eesti Maaülikooli üliõpilasesinduse pastapliiatsi vedrusid.



Joonis 3.1 Modifitseeritud läbilaskevõimega dosaatorite parandus. (Vasakul korrektne, paremal defektne)

Modifitseeritud dosaatori parandamine on võimalik, kuna dosaatoris sees olev nõel liigub vastavalt juhtmoodulilt väljastatud elektrilisele signaalile. Dosaatori korpus ise on paigal.

3.3 Eelkatsetuste ettevalmistamine

Autor tegi kõik allpool kirjeldatud katsed Eesti Maaülikooli sõiduautode katsestendilaboris. Katselaboris on vajalikud seadmed, s.h kütusekulu mõõteseade ja heitgaaside analüsaator. Katsete eesmärk on mõõta mootori võimsust, pöördemomenti, kütusekulu ja vastutakistusmomenti.

Kütusekulu mõõtmiseks kasutas autor kütusekulu mõõteseadet AVL – 7351 CME. Seade on varustatud kütuseanuma ja filtritega. Kütusekulu mõõteseade on lekke- ja korrosioonikindel. Mõõteseadmes kütuse suunamiseks on kasutatud spetsiaalseid kütusetorusid ja –voolikuid. Kütusetrassis peab olema tagatud õhuvaba ja ühtlane liikumine kõikides kütuseliini sõlmedes.

Kütusemahuti kuju tagab ühtlase vajaliku pealevoolusüsteemi. Filtrisse paigaldatud puhastussõelad võimaldavad mitmekordset kütuse filtreerimist.

Mõõteseadmel on sulgemisklapp, mis ohukorral (rikke või lekke korral) tõkestab kütuse pealevoolu seadmesse. Kütusekulumõõtja peab olema aluspinna suhtes täielikult loodis, mis tagab optimaalse tulemuse mõõtmise korral. Seade mõõdab kulutatud kütuse massi ja vooluhulka ning edastab saadud tulemused läbi juhtplokki personaalarvutile, mis on ühendatud COM-portiga. Juhtplokis töödeldakse laekunud signaale ja leitakse otsitavad väljundsuurused. Kütus voolab välisest kütusemahutist süsteemi läbi filtrite vabavooluga. Mõõdetud kütus ühendatakse mootori pealevoolu sisendiga. Kasutamata kütus suunatakse mööda tagasivoolu toru tagasi mõõteseadmesse. Vabavoolu puududes tuleb rakendada eraldi täiturpumpa vajaliku kütuserõhu saavutamiseks.

Tagasivoolu kütusekogus mõõdetakse, et määrata mootoris kasutatud täpne kütusekogus. Saadud tulemusi on võimalik kuvada erinevatel mootori koormusrežiimidel ja seadistada mõõtmiste tihedus. Mõõtmist saab reaalajas seadistada ja jälgida mõõteseadme tarkvaraga PC Software AVL 735. Kütusekulu mõõteseadme kasutamisel ühendatakse kütuse peale- ja tagasivool mootorsõiduki mootoriga. Ühendamisel sattunud õhumull eemaldatakse süsteemist vastava õhutusklaapi kaudu.

Katse on läbiviidud dünostendil *dynojet 223xlc*. Pöördemomendi ja võimsuse mõõtmiseks fikseerisin autorsõiduauto koormarihmadega vastavalt veosillale. Vedav sild sai fikseeritud 500 kg dünorulli keskele, mis võimaldas vedava sillaga dünorulli käitada. Mootori pöördemoment näitab, kui suure jõuga mootor läbi veovõllide ratast ringi suudab

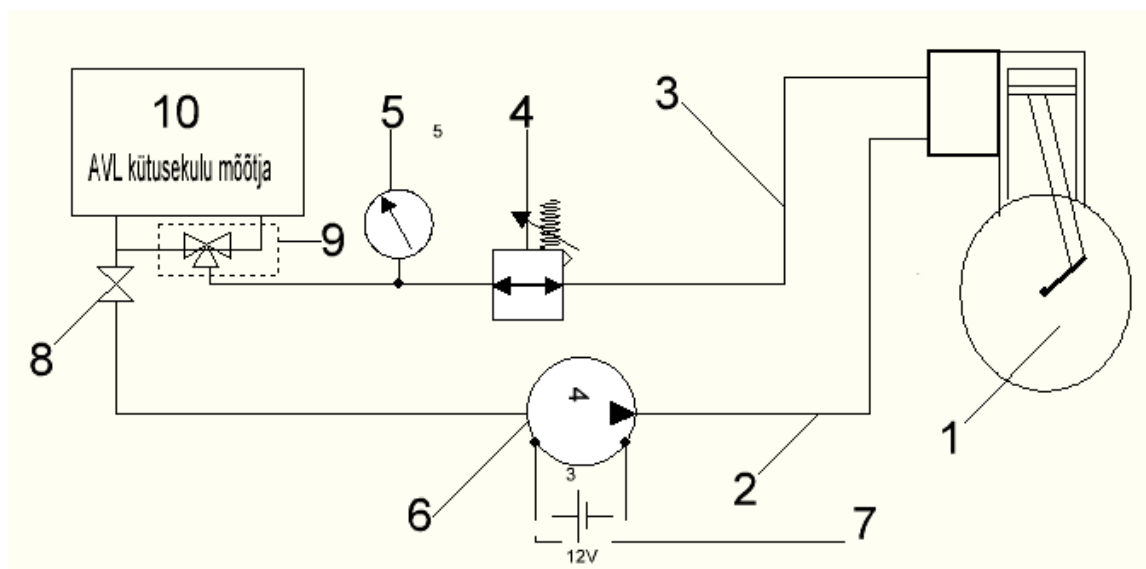
liigutada. TarkvaraWINPep7 võimaldab arvutada soovitud väljundid. Katsetatava mootori külge ühendatakse vāntvōlli pōördeid lugev seade, mis läbi generaatori laadimisimpulsi tuvastab vāntvōlli pōörlemissageduse ja võimaldab täpset pōörlemist kuvada. Pōördemomendi kaudu arvutatakse mootorivōimsus.

Heitgaas on sisepōlemismootori tōō tagajärjel atmosfääri lenduv gaasiline jääk- või kõrvalsaadus, mis sisaldab tervisele kahjulikke ühendeid ja vajab puhastamist. Heitgaasis sisalduvad ühendid – vāāveldioksiid, vingugaas, lāmmastikoksiidid on tervisele ohtlikud. Nimetatud gaasiühendid võivad tekitada hingeldamist, silmapōletikku, peavalu ja pōōritust. Seetōttu tuleb heitgaaside mōōtmist läbi viia hāsti ventileeritud ruumides. Turvanōudeid järgides mōōtis autor heitgaaside hulka ja sisaldust Bosch BEA 350 heitgaaside analüsaatoriga. Bosch BEA 350 on kombineeritud bensiin- ja diislikütuse heitkoguste analüsaator. Mōōtmisseade on universaalne ja täielikult ühilduv iga mootorsōidukiga. Mōōteanalüsaator on kaugjuhitav puldist ja prindib saadud katsenāidud paberile.

4 KATSEANDMED JA PULVERISAATORTOITESÜSTEEMI KONSTRUEERIMINE MOOTORILE

4.1 Opel Vectra katseandmed tehaseseadistusega

Katsete ülesanne on analüüsida sõiduauto efektiivsus- ja ökonoomsusparameetreid enne ja pärast pulverisaatortoitesüsteemi sõiduautole paigaldamist ja seadistamist. Katsed on tehtud koormatud mootori režiimis. Katse tegija kiirendas sõiduauto erinevate käikudega, et üheaegselt mõõta mootoris tarbitud kütusekulu teatud pöörete ajahetkel, mootori võimsust, pöördemomenti ja vastutakistusmomenti. Heitgaaside hulk ja sisaldus on mõõdetud eraldi katsel.

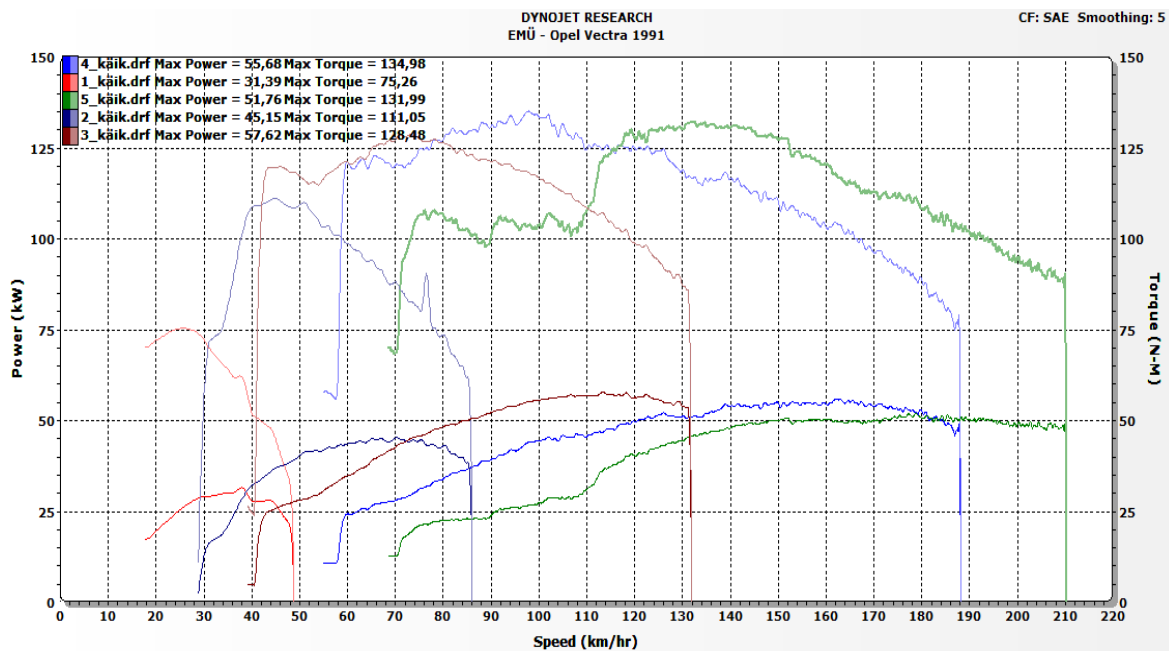


Joonis 4.1 Katsestendis kütusekulu põhimõtteskeem

1 – Sisepõlemismootor; 2- Kütuse pealevooluliin; 3- Kütuse tagasivooluliin; 4- Seadistatud drosselklapp 1 bar rõhule; 5 – manomeeter 6- Kütusepump; 7- Autoaku, kütusepumba toide; 8- Kuulkraan; 9 – õhutusklapp; 10 – Kütusekulu mõõtmisseade AVL 7351

Joonisel 4.1 on näha monopritse toitesüsteemiga kütusekulumõõtmise skeem, mille järgi katse tegija laboris Opel'i kütusekulu mõõtis. Katses kasutatud kütusekulumõõteseade on AVL 7351 CME. Sõiduautil on tavaliselt kütusepump kütuserõhu tekitamiseks ja toimetamiseks mootorini, kuid kütusekulu mõõteseadmél standardvarustuses kütusepump puudub. Imiteerimaks Opel'i kütusepumpa, fikseeris autor pumba vineerplaadile ja

seadistas rõhu 1bar peale. Ühendas pumba koos drosselklapiga kütuse tagasivoolutrassi vahele. Pumba toiteks kasutati 12V autoaku voolu. Joonisel 4.1 on näha, kuidas peale- ja tagasivoolu voolikud on ühendatud mootoriga. Katse jaoks eemaldas töö autor Opel bensiinipumba relee, sest vastasel juhul oleks kütusepump endiselt töötanud ning kapotialuse bensiiniga üle ujutanud.



Joonis 4.2 Mootorsõiduki pöördemoment ja võimsus monopritsiga

Opeli võimsuse ja pöördemomendi mõõtmiseks kiirendas katse tegija iga käiguga kolm "tõmmet", st toimus kiirendamine maksimaalsete pööreteni. Viienda käiguga ei saanud maksimaalsete pööreteni kiirendada, sest rehvimassi indeks lubas maksimaalseks kiiruseks 210 km/h. Kasutusel oli sülearvuti koos tarkvaraga WINPep7, mis näitas täpset kiirust. WINPep 7 näitab graafikul salvestatud tulemusi ja võimaldab kuvada tulemusi ka tekstifailina edasiseks analüüsiks.

Katse käigus mõõtis töö autor ka mootoriõli temperatuuri, heitgaaside hulka ja sisaldust. Mõõtmise jaoks käis mootor kohapeal töötemperatuurini umbes 90C. Õlivarda asemele ühendas katse tegija õli temperatuuri mõõtvat termomeetrit. Katse jaoks kaasas olevad kaablid ühendas aku klemmidega, et saaks täpselt mootori pöörded lugeda läbi generaatori laadimisimpulsi.



Joonis 4.3 Heitgaaside mõõtmine

Katsed viidi läbi mootoritühikäigul 870 p/min ja tühikäigu kõrgendatud pööretel 1500, 2500, 3000 pööret minutis. Heitgaaside mõõtmiseks pidi mootor käima ühtlase koormusega. Kümne sekundilise intervalliga mõõtis autor igal koormusel viis katset. Õigete tulemuste saamiseks kalibreeris autor katsete vahel mõõteseadet uuesti. Heitgaase mõõtva temperatuurianduri ühendas autor Opel summutiga. Samuti tuli summuti otsa ühendada heitgaaside imur, vältimaks tervisekahjustusi.

Tehaseseadistusega Opel mootor pidas edukalt katsed vastu. Töö autor otsustas, et pulverisaatoritoitesüsteemi võib sellele mootorile paigaldada. Tulemused efektiivsuse, ökonoomsuse ja heitgaaside mõõtmistulemuste kohta on lisas C.

4.2 Pulverisaatortoitesüsteemi paigaldamine mootorile

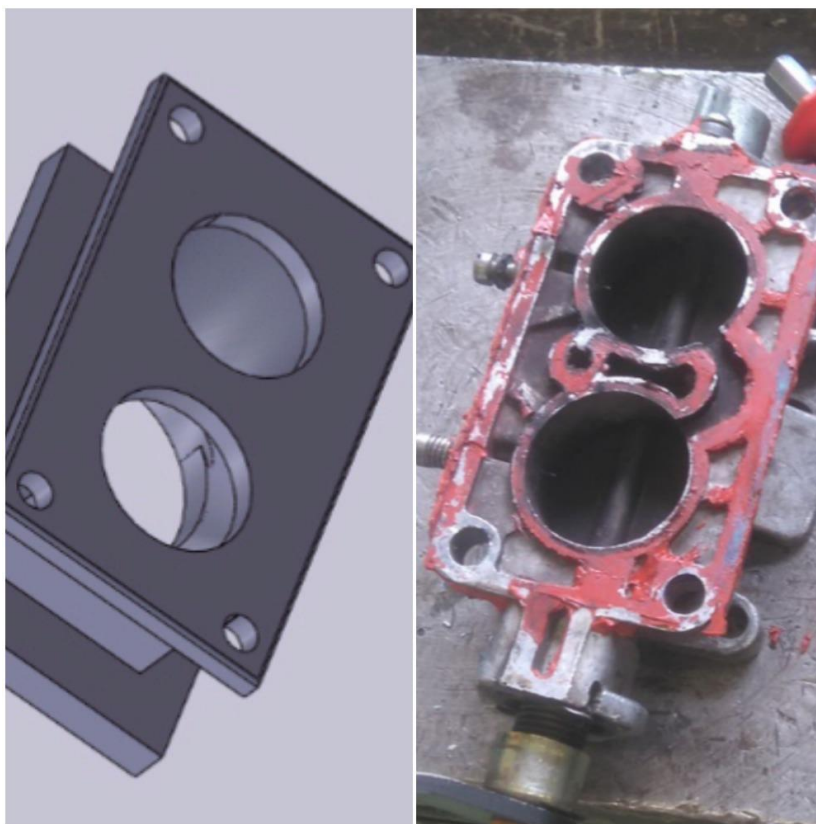
4.2.1 Abidetailid

Vaheflantsid on projekteeritud eesmärgiga tagada sujuvad üleminekud ühelt seadmelt teisele ja abiseadmed pulverisaatortoitesüsteemi toimimiseks sõiduautol. Projekteerimisel lähtus töö autor olemasolevate seadmete kasutamise võimalusest.

Pulverisaatortoitesüsteemi korpus on eelnevalt projekteeritud GAZ-21R mootori jaoks. GAZ-21R mootor on neljatahtiline rippklappidega karburaatormootor, segusiiber kasutab kahte klappi, siseläbimõõduga 35mm ja kahte sisselaskekollektorikanalitesse küttesegu sisenevat ava. Opeli sisselaskekollektorikanal on ühe küttesegu sisenemisavaga läbimõõduga 45mm. Aja ja materjali kokkuhoiu mõttes on mõistlikum projekteerida kahest avast ühele ülemineku flants, mitte projekteerida pulverisaatortoitesüsteemi uus korpus.

Pulverisaatortoitesüsteemi segusiibriflants ühendab Opeli sisselaskekollektori kanalit ja GAZ-21R segusiibrit. Ülemineku flantsi sisemus peab olema täielikult isoleeritud ümbritsevast keskkonnast – õhust. Flantsimaterjal peab olema täishomogeenne materjal ehk alumiinium sulami valand ilma õhumullideta. Vastasel juhul saab mootor lisaõhku ning küttesegu tasakaal muutub.

Detail on projekteeritud eesmärgiga kasutada olemasolevaid kinnituskohhti ja vahendeid. Flantson valmistatud Eesti Maaülikooli töökojas CNC töötlemiskeskuses.



Joonis 4.4 Projekteeritud vaheflants ja GAZ 21-R segusiiber

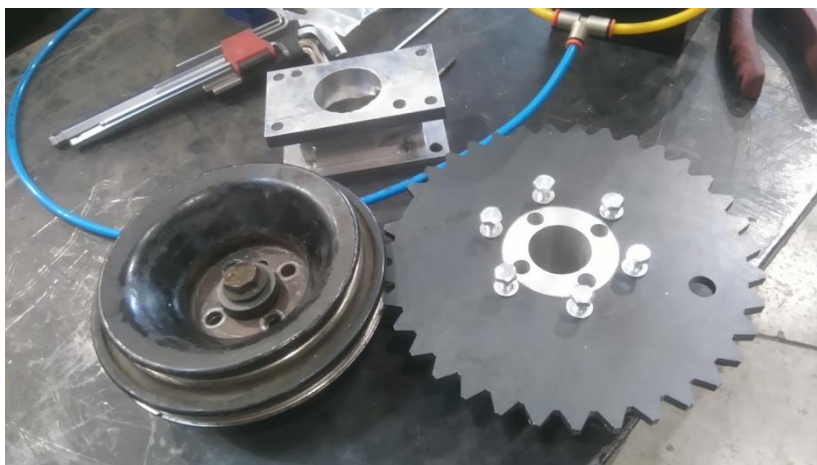
Segusiibri vaheflantsi kanalid on sujuva üleminekuga, mis väldib kütuse kondenseerumist flantsi kanalis. Detaili pind peab olema ühtlaselt tasane, et kasutada tihendeid.

Pulverisaatortoitesüsteemi õhuvõtuks tuli projekteerida ülemineku flants õhufiltrile. Õhufiltri ülesanne on puhastada mootoris sisenevat õhku. Õhus leidub mustust mis filtreerimata põhjustavad mootori sisedetailide kiiret kulumist ja lühendavad mootori eluiga. Vastavalt GAZ-21R mootorile projekteeritud pulverisaatortoitesüsteemi korpus kasutas katsestendis samuti kahte õhuvõtu ava. Kasutades ära olemasolevat koonus-õhufiltrit, projekteeris autorülemineku kahest avast üheks 90° nurgaga. Õhufiltri ülemineku flants peab olema õhukindel, et takistada lisaõhu sattumist mootoris. Õhufiltri ülemineku flantsi projekteeris autor selliselt, et saaks kasutada pulverisaatortoitesüsteemil ja koonusõhufiltril olemasolevaid kinnituskohhti. Lisaks projekteeritud õhu temperatuuri

andurile (tootekoodiga Bosch 0280130085) sobiv koht flantsil, et seadistada hiljem mootorit juhtmooduliga Megasquirt2.

Hammasmodulaatori eesmärk on Megasquirt2'le vääntvõlli positsiooni asukoha määramine. Hammasmodulaator on projekteeritud 35 ja ühe surnud hambaga terasest ketas. Tasakaalustamiseks on surnud hambale tehtud ava modulaatori vastasserva. Seejuures on kasutatud projekteerimise tarkvara SolidWorks võimalusi.

Hammasmodulaatori ülemine hamba tipp on sama laiusega kui VR anduri mõõtpea kõrgus, et saavutada puhast väljundsignaali vääntvõlli pöörlemisandurile. Anduri kronstein peab täitma tingimust liikuda sõiduajal edasi-tagasi koos mootori liikumisega, et lugeda hammasmodulaatori surnud hammast. VR anduri kronstein on projekteeritud ja kinnitatud vastavalt Opel'i mootorikäpa kujule.



Joonis 4.5 Tsentreeritud vääntvõlli rihmaratta puks koos hammasmodulaatoriga

Lisaks projekteeris autor tsentreeriva puksi, et kinnitada hammasmodulaator rihmarattale. Vääntvõlli rihmaratta vaheflants kinnitub vääntvõlli küljes olevale käbile. Käbi ja vääntvõlli rihmarattas ühilduvad kiilsoonde. Vääntvõlli rihmarattas käiab ringi generaatoririhma ja veepumbarihma. Käbi käitatakse mootoririhmaga, on oluline mootoriehituse detail määramaks õiget süüdet.

Vaheflants on projekteeritud kasutamaks ära olemasolevaid kinnituskohi. Vaheflantsi kaugust hammasmooduli toetuspinnast tuli leida pikemad kinnitusvahendid, mis ulataksid läbi vaheflantsi käbini. Originaal kinnitusvahendid on kuuskantpesad 30mm pikkused M7

keermega poldid. Autotööstus kasutab ebastandardseid kinnitusvahendeid ning pikemaid 60mm kogupikkusega sisekuuskant M7 keermega kinnitusvahendeid ei paku Eesti suurimad tarnijad (näiteks Baltic bolti tootekataloog), [19]ega kajasta Mehhaanikainseneri käsiraamat. [32:268] Väliskuuskantpea kinnitusvahendi kasutamine osutuks võimatuks tööriistaga ligipääsmatuse tõttu.

Tehnilise kinnitusprobleemi lahendamiseks eemaldas autor tõmmitsat kasutades käbi ja ühtlasi sellega mootoririhma. Vastavalt Baltic bolti pakutavatele kinnitusvahenditele valis autor Baltic Bolti tootekataloogist (19) DIN 912 12.9 zn 60mm M8 jämekeermega kuuskantpesaga kinnitusvahendid. Puuris $\varnothing 6.7$ mm puuriga käbi keermed, ning keermestas M8 keermele sammuga 1.25. Lisaks puuris üle väntvõlli rihmaratta augud.

Suruõhu paagi kinnitus aluse eesmärk on fikseerida suruõhu paak. Suruõhu paak on silindrilise kujuga ja mahtuvusega 40 liitrit. Suruõhu paagi asukohaks sai valitud Opel's kõrvalistuja positsioon. Vastavalt paagi läbimõõdule tuli projekteerida sobiliku raadiusega alus, kuhu suruõhu paak toetada. Eesti Maaülikooli töökojas valmistas autor kaks suruõhu paagi kinnitus kronsteini, et paak fikseerida. Lisaks sai projekteeritud ja valmistatud suruõhu paagi ette- ja tahapoole liikumist takistavad nurgikud. Valmistatud suruõhu paagi kinnitusalusel on kinnitatud Opel'i põhja külge ja lisatud ka põhja alla terasest vastus, mis tugevdab kinnitust. Suruõhu paak on kinnitatud põhja külge kahe metallist vitsaga. Kinnitus on pingutatav ja reguleeritav portekinnitusklambriga.

Kasutatud raisatud süütega Ford Focus'e süütepool sai projekteeritud süütepooli kuju ja kinnitusvahendite kasutamise võimaluse järgi. Süütepool pidi asuma mootoriruumis, et olemasolevad küünlajuhtmed ulatuksid süütepoolini, mis võimaldaks sädet jagada silindritesse.

Programmeeritava juhtaju kinnitusplaadi eesmärk on hoida ja kinnitada Megasquirt 2 koos modifitseeritud Volvo 840 kaitsmeplokiga auto salongi. Kaitsmeplokki on koondatud kõik täiturite ühendused, sulavkaitsmed ja enamuse lülitusreleedest. Kuna tegemist on prototüüp masinaga, peab olema hea ligipääs teha muudatusi mootori juhtimises ning kindlasti kaitstud sademete eest. Seepärast sai kaitsmeploki asukohaks valitud kõrvalistuja pardaluugi asemel olev tühimik. Kinnitusplaadi kinnituskohad on projekteeritud vastavalt

olemasolevate aukude järgi. Terasest kinnitusplaat võimaldab head ühendust elektriühendustele.

Lisaks projekteeris ja valmistas autor erinevaid väiksemaid abidetaile konkreetsele masinale.

4.2.2 Suruõhu liin

Suruõhuliini eesmärk on toita pulverisaatoritoitesüsteemi. Kompressorit on tarvis pulverisaatoritoitesüsteemi suruõhu tekitamiseks. Taavi Põri magistritöö "Pulverisaatoritoitesüsteem SI mootoris" selgitab nõudmisi suruõhu liini toimimiseks pulverisaatoritoitesüsteemis:

- 1) Suruõhurõhk konstantne vähemalt 2bar ja reguleeritav enne pulverisaatoritoitesüsteemi pihusteid.
- 2) Pihustite õhutootlikus nelja pihusti peale kokku vähemalt 86.07 l/min
- 3) Suruõhk olema automaatselt avatav ja suletav.
- 4) Süsteem lihtne ja universaalsete liitmikega.

Pihustitele õhuvoolu reguleerimiseks tuleb kasutada õhurõhuregulaatorit, mistõttu jõuab konstantne valitud rõhk pihustiteni. Õhuvoolu automaatseks avamiseks ja sulgemiseks kasutas töö autor olemasolevat elektromagnetventiili (tootekoodiga MW4017001200), mis vabastab suruõhu pihustitesse. Elektromagnetventiili kaablid olid ühendatud Opeli süütekaablitega, ehk süüte väljalülitamisel suruõhk pulverisaatoritoitesüsteemini ei jõua.

Suruõhu tekitamiseks on vajalik kompressor. T. Põri magistritöös on vähendatud töömahtu ning kasutatud suruõhu tekitamiseks eraldi kompressorit. Lisaks annab T. Põri vihje, et võiks kasutada mobiilset mootori vāntvōllilt laetavalt kompressorit rihmōlekandega.

Kompressori valikul võiks lähtuda etteantud parameetritest – nelja pihusti tootlikkus ja 2bar konstante õhurõhk. Kompressori gabariit võiks olla mõõtmelt väike ja mahtuda kapoti alla vāltimaks liigset mōra auto salongis.

Kompressori valik

Kompressori valikul tuleb lähtuda pulverisaatoritoitesüsteemi toimimiseks sisepōlemismootoris teatud parameetritest. T. Põri magistritöös on valem summaarse õhu

tootlikust iseloomustava võrrandi kohta. Mootori töötamisel 2bar toiterõhul on õhuvool järgmine.

$$Q_A = \pi \cdot \left(\frac{d_p}{2}\right)^2 \cdot \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_a}{\rho}} \cdot n = 3,14 \cdot \left(\frac{1\text{mm}}{2}\right)^2 \cdot 0,82 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 200\text{kPa}}{1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} \cdot 4 = 86,07 \frac{\text{l}}{\text{min}}, \quad [31]$$

Kus Q_A - õhu vooluhulk l/min

D_p -suruõhu kanali väiksem läbimõõt ehk pihusti düüsi läbimõõt 1mm

μ -vooluhulgategur 0,82

ρ - Õhu tihedus 760 mmHg ja 0°C juures; $\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3$

n – tarbijate ehk pihustite hulk süsteemis $n = 4$ [8]

T. Põri magistritööst [8] selgub, et kompressori tootlikus peaks olema vähemalt 86.07 l/min toiterõhul 2bar. Aja ja kaalu kokkuhoiu mõttes välistab käesoleva töö autor rihmarattalt käiatavate kompressorite valiku. Maastiku autod kasutavad kompressoreid mudarehvide täispumpamiseks ja uuematel sõiduautodel on õhkvedrustus kompressor toitet. Praeguse töö autor tutvus saadaolevate kompressorite valikutega. Autor tegi võrdleva tabeli, et leida pulverisaatoritoitesüsteemile sobilik kompressor. Vaja on 12V toitega suruõhu kompressoreid, mis rahuldaks õhu tootlikkuse võrrandit ja mille töösükli aeg ei oleks piiratud. Õhu tootlikus 86.07 l/min seab piirid paljudele enamkasutavatele 12V kompressoritele.

Tabel 4.1 Kompressorite võrdlus

Nimetus	Tootlikus	Max. rõhk	Töotsükkel	Hind
TTCA2 (20)	85l/min	10bar	40min @ 2bar	120€
TTCA3 (21)	160l/min	12,4bar	30min @ 2bar	180€
DragonWinch (22)	150l/min	10bar	40min @ 2bar	150€
Boss PX07 (23)	99l/min	10,3bar	100%	300€
Air Zenith OB2 (24)	120l/min	13.7bar	100%	250€
Thomas TA-5102DC (270058) (25)	91l/min	10bar	100%	1100€ + KM
NardiEspirit 3T (26)	180l/min	10bar	100%	900€ + KM

Paljud suruõhu kompressorid langevad valikust välja töötsükli aja tõttu. Võrdlevast tabelist langesid välja esimesed kolm suruõhu kompressorit (*TTCA2*, *TTCA3*, *DragonWinch*), kuna nende töötsükkel on piiratud. Need võimaldavad töötada 30minutit vaheajalise pausita, kus rakendub ülekuumenemiskaitse (*thermalprotection*). Kuna tegemist on 12V toite pealt töötava elektrimootoriga, mis liigutab kompressoris olevaid kolbe, takistab sisseehitatud termokaitse suruõhukompressori mootorit ülekuumenemise või läbipõlemise eest. Kompressori elektrimootor jahtumisel võib edasi töötada, kuid pulverisaatoritoitesüsteem vajab pidevat suruõhu tarbimist. Võrdlevast tabelist langevad välja esimesed kolm suruõhu kompressorit (*TTCA2*, *TTCA3*, *DragonWinch*), kuna töötsükkel on piiratud.

Suruõhu kompressorite Eesti edasimüüjad soovitasid kasutada tööstuslikke kompressoreid tootjatelt *GardenerThomas* ja *Nardicompressors*, mis võimaldavad täielikku töötsükli ülekuumenemata. Kompressorite võrdlustabelis 8.5 langesid võrdlusest välja viimased kaks kompressorit (*Thomas TA-5102DC 270058* ja *NardiEspirit 3T*) liiga kalli hinna tõttu.

Suruõhu kompressorite valikusse jäänud *Boss PX07* ja *Air Zenith OB2* võimaldavad mõlemad 100% töötsükli, on õlituseta, ei kasuta plastikust kuluosi ning võimaldavad osta

taasehituskomplekti (*rebuildkit*). Mõlemal kompressoril on elektrimootori jahutamiseks sisseehitatud ventilaator, ning vahetatav õhufilter.

Valituks osutus suruõhu kompressor *AirZenith OB2*, kuna see võimaldab suuremat suruõhu tootlikust, kõrgemat maksimaalset rõhku ja on odavam.

Kompressor saab tekitada varuks õhurõhku kasutades survepaaki. 40L Survepaak koos sobilike üleminekutega tollkeermest meeterkeermele sai monteeritud sõiduauto kõrvalistuja tooli asemele.

Suruõhu paagi sisendile lisasin rõhurelee, mis seiskab suruõhukompressori töö, kui paagis on saavutatud rõhk 4bar. Suruõhu relee leidis töö autor Eesti Maaülikooli töökojas oleva vana 230 V mittetöötava kompressori pealt. Töö autor modifitseeris 230V suruõhu relee töötama 12V toite pealt. Modifitseeritud suruõhu relee eesmärk on võimaldada suruõhukompressorile puhkust. Sarnase 12V toite peale suruõhu relee on võimalik soetada SMC PneumaticIndustry lehelt [33] 67€ eest. SMC poolt pakutav toode võimaldab täpsemat suruõhu reguleerimist ja LED ekraani, kuid vanasse Opelisse sobib ka modifitseeritud suruõhurelee, kui see täidab soovitud eesmärgi.

Modifitseeritud suruõhurelee täidab lisaks ka ohutuse eesmärgi. Kui juht unustab lahti keerata suruõhuliini kuulkraani siis kompressor lõpetab töö, kui suruõhupaagis on saavutatud õhurõhk 4bar. Suruõhu liin on koostatud standardsete *festopneumatics* suruõhu voolikute ja kiirliitmikega, mis võimaldavad õhurõhku süsteemis hoida kuni 10bar. Kompressori poolt toodetav maksimaalne õhurõhk on 14bar, ehk nõrgim ühenduskoht suruõhuliinis katkeb. Lisaks sai suruõhu paagi sisendi ette ventileeritav kuulkraan, mis võimaldab õhutada suruõhu paaki, et ei tekiks kondenseerunud õhku ja vabastaks õhuvoolu ülejäänud süsteemi.

Ohtlike olukordade vältimiseks on kasutatud elektromagnetventiili suruõhu liini peatamiseks. Süütelüliti väljakeeramisel takistab elektromagnetventiil kompressorist tuleneva lisaõhu pulverisaatoritoitesüsteemi (2.1). Suruõhu liini skeem on lisas B.

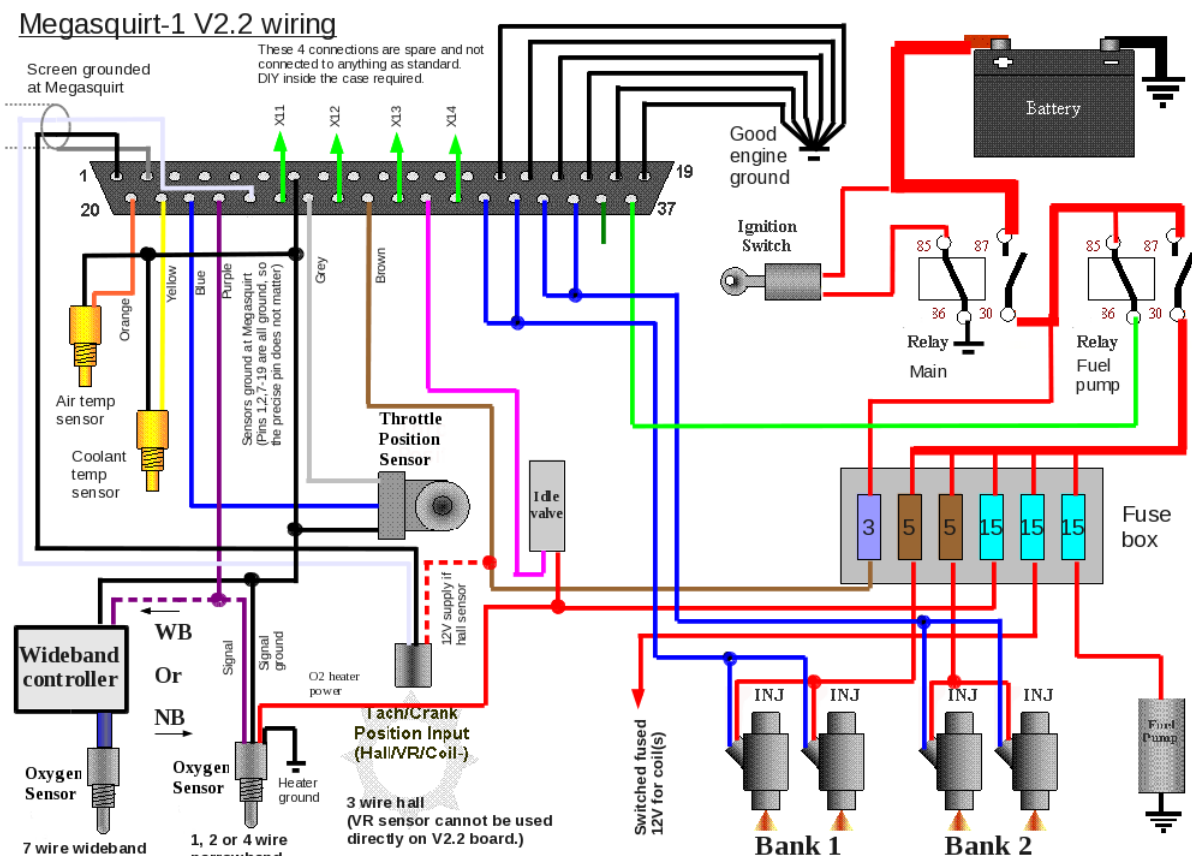


Joonis 4.6 Suruõhuliin autos

Joonisel 4.6 on näha suruõhu liin autos. Kompressor on kapoti all ja suruõhu puhverpaak kõrvalistuja tooli asemele kinnitatud.

4.3.1 Juhtmoodul Megasquirt2

Megasquirt 2 on järelturu seade, mis võimaldab kontrollida sisepõlemismootori tööd ning seadistada vastavalt vajadusele. Megasquirt 2 kasutamine eeldab mootori tööks vajalike täiturite olemasolu ja korrektset ühendamist juhtmooduliga. Programmeeritava ECU seadistamiseks on võimalik kasutada personaalarvutit tarkvaraga TunerStudio MS mis on ühildatav jadaliidesega RS 232. Enne seadistamist on vajalik muretseda litsents, ning teha vajalikud uuendused tarkvarale. Megasquirt 2 valis autor sellepärast, et seade oli Eesti Maaülikooli mootorikatsesendi laboris olemas. Joonisel 4.7 on kujutatud Megasquirt2 juhtmooduli ühendamine mootori anduritega.



Joonis 4.7 Juhtmooduli Megasquirt ühendamise põhimõtteskeem [34]

Esmalt tegi töö autor uue projekti ning kasutades jadaliidest, sai ühenduse Megasquirt 2 programmeeritava juhtmooduliga läbi andmeedastuskanali 15200 (*baudrate*). Ühenduse olemasolul on võimalik konfigureerida juhtmoodulit läbi tarkvara TunerStudio MS. Peale esmast ühendamist kontrollis autor ühendused ja korrasolekud erinevatel

sisepõlemismootori täituritel TunerStudio test režiimis (*test mode*). Tähtsaimaks võiks nimetada vāntvōlli pōōrlemise andurit, mis loeb hammasmodulaatori surnud hamba positsiooni. Levinud andurid on Hall'i andur, induktsiooniandur ehk VR andur ja optiline andur, mis võimaldab ECU välja arvutada vāntvōlli pōōrlemiskiiruse tānu projekteeritud ja jāigalt kinnitatud hammasmodulaatoriga. Valitud olemasolev VR andur ise magnetvālja ei indutseeri, vaid reageerib magnetvālja muutusele ehk terasest hammasmodulaatori surnud hambale. Lisaks sai testrežiimis kontrollitud ka pihustite lahtioleku aega ja kōōnlahuhtmetes tekkinud sādet. Megasquirt 2 rippmenōōst tuli valida (*advanced – Output test mode*) ning kontrollida soovitud taiturit. Test režiimis on vōimalik visuaalselt vaadata, kuidas kōōnaldes tekib sāde ja kas kōik kōōnlad on tōōkorras, et jātkata seadistamisega. Lisaks on vōimalik kontrollida pihustite reageerimist Megasquirt2 poolt vāljastatud signaalile.

Kāiates mootorit starteriga, õnnestus kätte saada signaal projekteeritud hammasmodulaatorist. Valides TunerStudio menōōst kāskluse (*Diagnostics&highspeedloggers – Rotary settings*), veendus autor VR anduri poolt pōōtutud signaalis (*Diagnostics&HighSpeedLoggers – ToothLogger*) ehk VR andur reageeris stabiilsele magnetvālja muutusele. Olles signaali tuvastanud, sai hāālestatud vāntvōlli positsiooniandur lugema 35 hammast ja ūhte surnud hammast, et fikseerida vāntvōlli tāpne pōōrlemiskiirus. Kasutaud VR andur koosneb vaskmāhisega pehmeterasest sūdamikust (poolist) ja korpuse sees olevast pūsimagnetist, mis seirab hammasmodulaatori hammaste mōōdumist pōōrlemisel. Vāntvōlli pōōreldes tekitavad hammasmodulaatori hambad magnetvoo muutusi, indutseerides pinget. ECU suudab arvutada sageduse pōhjal mootori pōōrlemiskiiruse [16:256]. Juhtmoodul sai seadistatud nii, et 90 kraadi enne andurit asetseb hammasmodulaatoril surnud hammas.

Jārgmisena seadistas autor Megasquirt 2 konkreetselt Opelī mootorile. Sisestades juhtmooduli menōōst kāskluse (*Basic setup – engineconstants – requiredfuel*) juurde Opelī mootori kubatuuri (1796cm^3), māāratud silindrite arvu (neli silindrit) ja sisestatud modifitseeritud lābilaskevōimega pihustite tootlikuse 2bar kūtuserōhul $200\text{cm}^3/\text{min}$, arvutab juhtmoodul Megasquirt2 vālja kalkuleeritud vajamineva kūtusehulga (*Calculate required fuel*), arvestades ka ōhu ja kūtuse māāratud tasakaalu (*Air – fuelratio*) 14.7kg ōhku ūhe kilogrammi bensiini kohta. Megasquirt2 annab vāga hea vōimaluse uurida pulverisaatoritoitesūsteemi ning seadistada vastavalt sobivale konfiguratsioonile edasistes uurimustōōdes kūtusena nāiteks bioetanooli.

Põlemisprotsessi tagasisideks juhtmoodulile sai võetud kasutusele lairiba hapnikuandur Innovatemotorsports LC-1. Lairiba hapnikuandur väljastab hapniku sisalduse heitgaasides pingeväärtuse Megasquirt2 juhtmoodulile sõltuvalt kütusesegust – rikas või lahja segu. Lairiba hapnikuandur on paigaldatud Opeli väljalaskekollektori silindrilisse avasse. Enne kasutamist on lairiba hapnikuandur kalibreeritud kaasasoleva juhendi abil värskes õhus, ning kütuseliigi määramiseks kasutatud tarkvara LogWorks3.

Mootori koormusrežiimi määramine toimub MAP anduriga. MAP andur genereerib signaali, mis on proportsionaalne sisselaskekollektoris valitseva negatiivse rõhuga. Vastavalt koormusrežiimile kasutab sisepõlemismootori juhtmoodul Megasquirt2 kütusekaarti (*fuelmap*) süüte ajastuse (*ignition timing*) seadistamiseks. Mootori töötamisel suurtel pööretel on segusiiberklapi asend täielikult avatud. Mootor ahmib sisse rohkem õhku, mis eeldab suuremat kütusekogust, et hoida võrdsena kütuse ja õhu tasakaalu. Mida suurem on negatiivne rõhk sisselaskekollektoris, seda suurem on mootori koormusrežiim.

Mootori külmkäivitamiseks on vaja silindrisse rikast küttesegu. Mootorit nimetatakse külmaks, kui temperatuur on alla mootori töötemperatuuri (90 °C). Opeli külmkäivitamiseks on võimalik seadistada Megasquirt2 jahutusvedeliku temperatuuri anduri abil. Megasquirt2 saab pidevat tagasisidet mootori töötemperatuuri kohta, mis võimaldab muuta õhu ja kütuse tasakaalu suhet. Juhtmoodul saadab välja signaali jahutusvedeliku temperatuuri andurile. Pingelang anduris muutub vastavalt temperatuurile, kuna anduri takistus muutub. Juhtmoodul arvutab mootori temperatuuri ja võrdleb sisse kodeeritud väärtustega, et tagada mootori stabiilne töö läbi süüte ajastuse ja kütuse-õhu tasakaalu suhte. [30] TunerStudio MS menüüribas kalibreeris autor kõigepealt mootori temperatuurianduri. Selleks kasutas autor Opeli originaal temperatuuriandurit. Seejärel sai seadistada käivitusrežiimi vastavalt jahutusvedeliku temperatuuriväärtusest (*CrankingPulsewidth%*). Mida väiksem temperatuur mootori jahutusvedelikus, seda rikkam on küttesegu. Mootor soojeneb ajapikku tööd tehes, ning TunerStudio MS abil saab seadistada kütuse etteannet juba sooja mootori korral (*WarmupEnrichment*).

Kütusekaart (*fuelmap*) tuli seadistada vastavalt Lambda andurilt saadud informatsioonile. Megasquirt2 võimaldab automaatselt hoida sisestatud õhu-kütuse tasakaalu ning seadistada iseseisvalt vastavalt koormusrežiimile.

Elektriskeemis välja toodud Megasquirt2 kohandatud ühendamiseskeem pulverisaatoritoitesüsteemi toimimiseks on Lisas B.

4.3 Analüüs

Käesoleva projekti eesmärk oli pulverisaatoritoitesüsteemi paigaldamine mootorile. Projekti autor soovis ka analüüsida mootorsõiduki efektiivsus- ja ökonoomsusparameetreid monopritse- ja pulverisaatoritoitesüsteemi korral.

Töö eesmärk on täidetud, s.t pulverisaatoritoitesüsteem mootorsõidukile paigaldatud. Kuna tegemist on prototüüp masinaga, ei õnnestunud töö autoril mõõta ja analüüsida mootorsõiduki efektiivsus- ja ökonoomsusparameetreid pulverisaatoritoitesüsteemiga. Plaanitud ülesanded jäid täitmata, kuna ei olnud võimalik käesoleva konfiguratsiooni ja võimalustega seadistada pulverisaatoritoitesüsteemiga Opel'i mootori erinevaid koormusrežiime.

Modifitseerimata sõiduauto Opel kasutas toitesüsteemina monopritse toitesüsteemi. Monopritse toitesüsteemil on üks pihusti pihustamaks kütust silindrisse. Pulverisaatoritoitesüsteem kasutab nelja modifitseeritud läbilaskevõimega kütusedosaatorit. Et veenduda pumba tootlikkuses, sai lahti ühendatud kütuse pealevoolu voolik ning suunatud mõõteanumasse. Lülitades sisse kütusepumba, sai mõõdetud 1 minuti jooksul kütusepumba tootlikkust. Originaal kütusepumba tootlikus oli 0,3 l/min seadistatud kütuserõhuga 2bar. Nelja modifitseeritud läbilaskevõimega pihusti toitmiseks vāntvōlli täispōrōrdel on vaja vāhemalt 0,8l/min kütuserōhul 2bar. [8]

Originaal Opel'i kütusepump ei ole piisavalt suure tootlikkusega, et rahuldada nelja dosaatori vajaminevat minimaalset kütusehulka. Monopritsega sooritatud kütusekulu mõõtmise katsel kasutati kütusekulumõõteseadme vabavoolu kütusepumpa. Kuna Opel'i originaalpump ei olnud piisavalt tootlik, kasutas autor käesolevas projektis kahte kütusepumpa, et saavutada piisav kütusepumpade tootlikus pulverisaatoritoitesüsteemile. Ühendades jadamisi originaal kütusepumba ning seejärel kütusekulumõõte katsestendis oleva vabavoolu kütusepumba õnnestus saavutada minimaalne kütusepumpade tootlikus pulverisaatoritoitesüsteemi toimimiseks 0,8 l/min. Kütuseliin on kirjeldatud lisas B.

Projekti masina seadistamine osutus võimatuks sisselaskekollektoris negatiivse rõhu abil, ehk kasutades Megasquirt2 sisse ehitatud MPX4250 [29] alarõhu andurit. Pulverisaatoritoitesüsteem vajab peenefraktsioonilise küttesegu moodustamiseks pidevat suruõhu pealevoolu läbi pihustite taga olevate suruõhudüüside (joonis 1.2).

Kompressoristtulev suruõhk rikub mootorirežiimide seadistamiseks vajamineva segusiiberklapi poolt tekitatud negatiivse rõhu.

Korraliku mootori töörežiimide seadistamise läbikukkumise tõttu ei ole otstarbekas teostada efektiivsus- ja ökonoomsusparameetrite mõõtmine. Seadistamine oleks võimalik kasutades gaasisiibri positsiooni andurit (TPS). Juhtmoodul Megasquirt2 võimaldab ühildada olemasolevat gaasisiibri positsiooni andurit (Joonis 12.1 Pin7, Pin21, Pin26). Seguklapi gaasipositsiooni anduri abil on võimalik määrata mootori koormusrežiime ning seadistada Opel ja teostada katsed. Teoreetiliselt on võimalik monteerida seguklapipotentsiomeeter GAZ 21R segusiiberklapi völlile, et määrata sellega koormusrežiime.

Seadistamisel üritas mootor põletada ülikast küttesegu. Ülikas küttesegu ei põlenud korralikult ning tekitas mootoriküünaldele pidevalt palju tahma ja ära põlemata kütust. Eriti sisselaskekollektori torustiku kahele keskmisele küünlale, kuna küttesegu äärmistesse silindritesse pikema vahemaatõttu ei jõudnud. Selle tõttu eemaldas autor pidevalt süüteküünlad, puhastas need ning monteeris tagasi, et saaks seadistamisega jätkata.

5 KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärk on pulverisaatoritoitesüsteemi paigaldamine mootorsõidukile. Töö autor täitis eesmärgi, mille käigus projekteeris ja konstrueeris vajalikud abidetailid. Praktilise töö käigus analüüsis autor, milliseid konfiguratsioone kasutada pulverisaatoritoitesüsteemi ühendusflantside valmistamisel, milliseid materjale kasutada ning kuidas ja kuhu toetada erinevaid abiseadmeid süsteemi toimimiseks jälgides vaba ruumi kasutust.

Pulverisaatoritoitesüsteemi ülesanne on sõiduki mootorit varustada kvaliteetse kütteseguga. Pulverisaatoritoitesüsteemi paigaldamine mootorsõidukile nõudis ülemineku flantside projekteerimist segusiiberklapi ja õhufiltri tarvis. Lisaks kinnitused ja kronsteinid erinevate abiseadmete paigaldamiseks mootorile. Segusiiberklapi ja pulverisaatoritoitesüsteemi vaheline ala peab olema täielikult õhukindel, et mootor täiendavat õhku ei saaks. Vastasel juhul mootori koormusrežiim muutub. Pulverisaatoritoitesüsteemiga katseauto vajab eraldi programmeeritavat mootori juhtimissüsteemi, juhtmestikku, andureid. Käesolevas töös on kasutatud juhtimissüsteemi MegaSquirt2. Programmeeritav juhtmoodul vajab täpset seadistamist, et pulverisaatoritoitesüsteemi efektiivselt ära kasutada. Juhtmooduli seadistamiseks kalibreeris autor mootori andurid ja tutvus erinevate seadistamise õpetuste ja elektriskeemidega.

Pulverisaatoritoitesüsteem vajab suruõhutoiteid. Opel baasvarustuses suruõhu allikas puudus. Autor analüüsis erinevaid mobiilseid suruõhu tekitamise võimalusi ning paigaldas autole suruõhuliini. Autor seadistas suruõhuliinid toimima eelnevalt Maaülikooli teadustööde käigus välja töötatud parameetrite põhjal. Töö sisaldab ka turul olevate 12V suruõhu kompressorite valiku analüüsi.

Erinevaid ülemineku flantse monteerides paigaldas autor pulverisaatoritoitesüsteemi sõiduauto Opel mootorile sobivaks., millega täitis lõputöö eesmärgi.

Lisaks täitis töö praktilist väärtust. Projekti läbimise tulemusena modifitseeriti sõiduauto mootorit, mis võimaldaks kasutada erinevaid biokütuseid. Sellise modifikatsiooni läbiviimine andis töö autorile palju kogemusi.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Kütusekulu mõõteseadme AVL 7351 CME kasutamise metoodika. (2012). Eesti Maaülikool. S. Pühvel. [WWW] <https://dspace.emu.ee/xmlui/handle/10492/365> (01.02.2017)
2. Estimating gasoline performance in internal combustion engines with simulation metamodels. (2016). Science direct. R. Naschimento de Carvalho, G.B. Machado, M. J. Colaco. [WWW]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236116312790> (01.02.2017)
3. Pulverisaatoritesüsteemi mõju sädesüütega mootori põlemisprotsessile (2015). Tauri Teras [WWW]. https://dspace.emu.ee/bitstream/handle/10492/2123/Tauri_Teras_2015BA_TA_t%C3%A4istekst.pdf?sequence=1 (03.02.2017)
4. Bosch injector – systems for internal mixtureformation . (2016). Bosch Mobility solutions. R. Bosch. [WWW] http://www.bosch-mobility-solutions.us/media/documents/e-folder-and-data-sheets-pfi.pdf?WT.mc_id=269_DE_OEM_OEM (03.02.2017)
5. Combustion process in internal combustion engine. (2013). Bronislaw Sendyka, Marcin Noga. [WWW]. <https://www.intechopen.com/books/advances-in-internal-combustion-engines-and-fuel-technologies/combustion-process-in-the-spark-ignition-engine-with-dual-injection-system> (04.02.2017)
6. Bearnouilles' law (2007). Eric W. Weisstein. [WWW]. <http://scienceworld.wolfram.com/physics/BernoullisLaw.html> (04.02.2017)
7. The Venturi Effect (2016) Bill Gurtstelle. [WWW]. <http://makezine.com/projects/giovanni-venturi-venturi-effect/> (04.01.2017)
8. Pulverisaatoritoitesüsteem sädesüütega mootorile (2012). Taavi Põri [WWW]. https://dspace.emu.ee/xmlui/handle/10492/2471/discover?filtertype_0=subject&filter_relational_operator_0=equals&filter_0=pihusti&filtertype=author&filter_relational_operator=equals&filter=P%C3%B5ri%2C+Taavi (17.01.2017)
9. Ultra high pressure and enhanced multiple injection – potentials for the diesel engine and challenge for the fuel injection system (2012) O.Herrmann, M. Nakagawa[WWW]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857092106500088> (17.01.2017)

10. How electronic fuel injection (EFI) Works. (2009) Mark Zimmerman [WWW].
<http://www.motorcyclecruiser.com/how-electronic-fuel-injection-efi-works-how-to>
(17.01.2017)
11. Bio-fuels as alternative fuels for Internal Combustion Engines (2016). Ankush Prajapati, Devash Kumar [WWW]. <http://www.ijert.org/view-pdf/14796/impact-of-biofuel-in-internal-combustion-engine> (17.01.2017)
12. Impact of biofuel in internal combustion engine (2016). Ankush Prajapati, Devash Kumar [WWW]. <http://www.ijert.org/view-pdf/14796/impact-of-biofuel-in-internal-combustion-engine> (17.01.2017)
13. Lokaal- ja kohtküttelahendused ning soojussalvestid (2015). Ü. Kask. [WWW].
https://skk.ee/fileadmin/media/dokumendid/Koolituste_materjalid/energia_koolitus_programm/UloKask_ettekanne_6.pdf (17.01.2017)
14. Gaasi kasutamine hoonete energia varustuses (2012). A. Paist [WWW].
http://www.teaduspark.ee/UserFiles/Projektid/empower/Küttegaaside%20kasutamise_A_Paist_24.10.2012.pdf (23.02.2017)
15. Alternative fuels for internal combustion engines (2017) Choongsik Bae, Jaeheun Kim [WWW].
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1540748916304850> (24.02.2017)
16. Autonduse käsiraamat (2012)
17. Reverse engineering gone wrong: A case study (2004). A.J. McEvily [WWW].
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630705000142?np=y&npKey=y=16ee223d51c4be91e99c1dc419b67fcae064f07d4c50b28630c940ddda25f75e>
(25.02.2017)
18. Review on the characteristics of butanol, its production and use as fuel in internal combustion engines (2016). Wagner Robert da Silva Trindade, Rogerio Goncalves dos Santos. [WWW].
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116309844> (26.03.2017)
19. Baltic bolti tootekataloog (2017) Baltic bolt. [WWW].
<http://www.balticbolt.ee/toode.php?show=products&parentID=6&productID=49>
(26.03.2017)
20. Vooluhulga tegur (2016) [WWW]. <http://www.smithvalve.com/technical/flow-coefficient.aspx> (22.03.2017)
21. Terrain Tamer kompressor2 (2017) [WWW]. <http://www.terraitamer.com/cz/4wd-products/recovery/item/172-twin-piston-air-compressor> (24.03.2017)

22. Terrain Tamer kompressor3 (2017) [WWW]. <http://www.terrintamer.com/cz/4wd-products/recovery/item/174-series-3-air-compressor> (24.03.2017)
23. DragonWinch kompressor (2017) [WWW]. <http://shop.jrmotors.ee/et/a/dragon-winch-kompressor-big> (24.03.2017)
24. T-max kompressor (2017) [WWW].
http://www.maasturid.ee/index.php?page=shop.product_details&flypage=shop.flypage&product_id=56&category_id=1&option=com_virtuemart&Itemid=6&vmcchk=1&Itemid=6 (24.03.2017)
25. Boss PX07 kompressor (2017) [WWW].
<https://bossairsuspension.com.au/compressors/12-volt-air-compressor-px-07/> (24.03.2017)
26. Air Zenith OB2 kompressor (2017) [WWW]. <http://shop.air-zenith.com/200psiob2-black.aspx> (24.03.2017)
27. Biodiislikütus: Veonduses kasutatavad vedelad biokütused (2015) K. Kuldpere, Ü. Kask [WWW]. http://www.kirikiri.ee/article.php3?id_article=237 (24.04.2017)
28. Bernoulli seadus (2007) Eric W. Weisstein [WWW].
<http://scienceworld.wolfram.com/physics/BernoullisLaw.html> (25.04.2017)
29. Juhtmoodul Megasquirt2 (hind) (2017) [WWW].
<https://www.diyautotune.com/shop/megasquirt-kits-components/megasquirt-1/> (12.05.2017)
30. Internal combustion engine cold-start efficiency: A review of the problem, causes and potential solutions. (2014). A.Roberts, R.Brooks, P.Shipway [WWW].
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890414001939> (12.05.2017)
31. Tehnoloogiaseadmete elektrialamid. M. Liiske – Tartu 1988
32. Mehaanikainseneri käsiraamat. – Tallinn 2015
33. Suruõhurelee 12V. (2017) [WWW].
https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/digital_catalog_2/jsp/view_product_configurator.jsp?dc_product_id=44152&lang=en&ctry=EU
34. Megasquirt2 põhiline ühendusdiagramm (2011) [WWW].
<http://www.msextra.com/doc/general/ms1external.html> (17.05.2017)

PULVERIZER FUEL SUPPLY SYSTEM ON PASSANGER CAR ENGINE

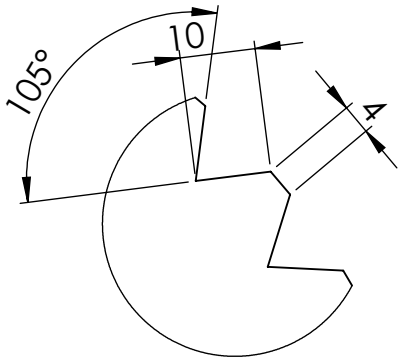
SUMMARY

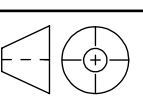

The object of this course project was to rebuild old Opel Vectra engine suitable for existing pulverizer fuel supply. The main criteria which were use of free space, use of different materials and construction flanges in order to get it running correctly. Author wanted to increase the efficiency of the engine in selected areas of environment polluting emissions reduction. Introduces the possibility of using alternative biofuels in internal combustion engine. Author made a choice between markets compressors and mounted an on-board air compressor on Opel.

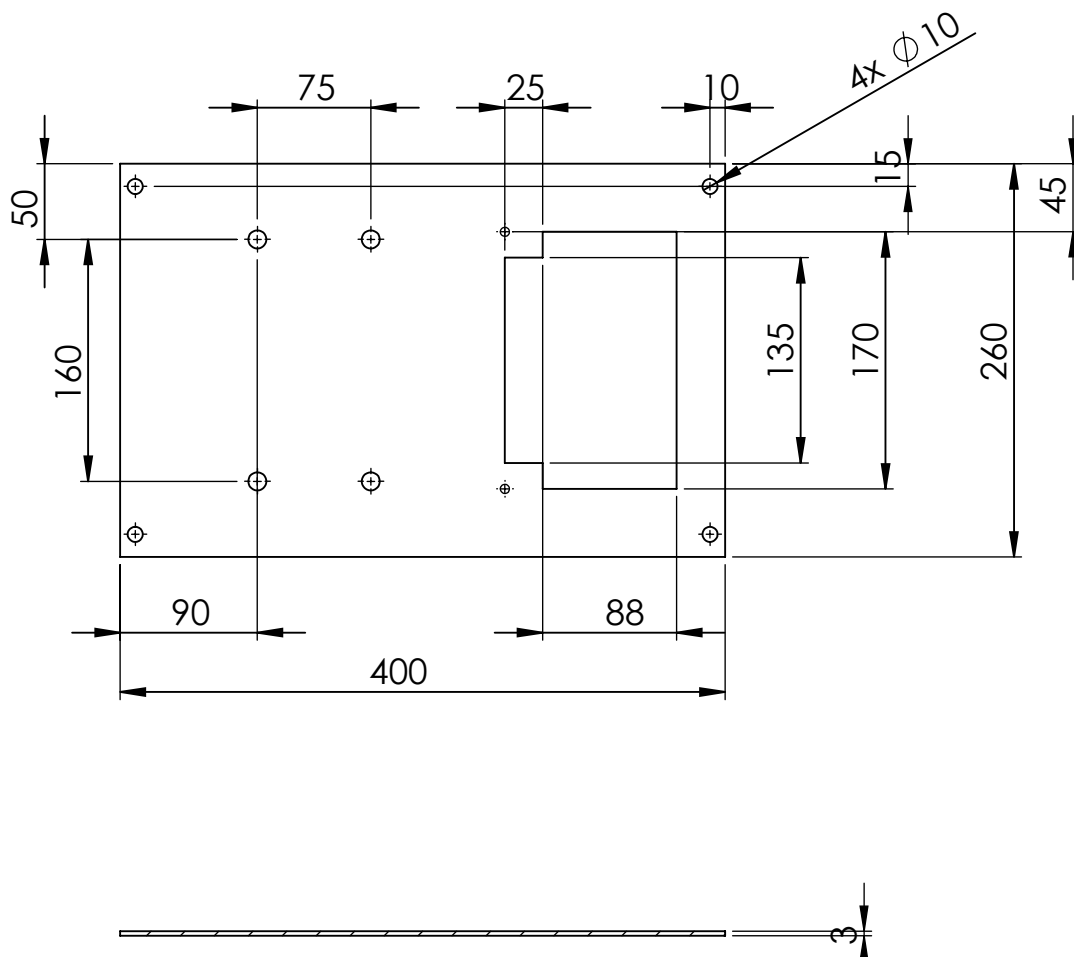
Because of modified intake collector, the programming of the engine is done with Megasquirt2 programmable ECU. The Pulverizing fuel supply was individually mounted, suitable for Opel Vectra and the aim of the work has accomplished. In addition to the practical value of the work performed. The project car was modified as a result of the passenger car engine would allow the use of different biofuels in internal combustion engine. Such a modification of the conduct gave author many experiences.

LISAD

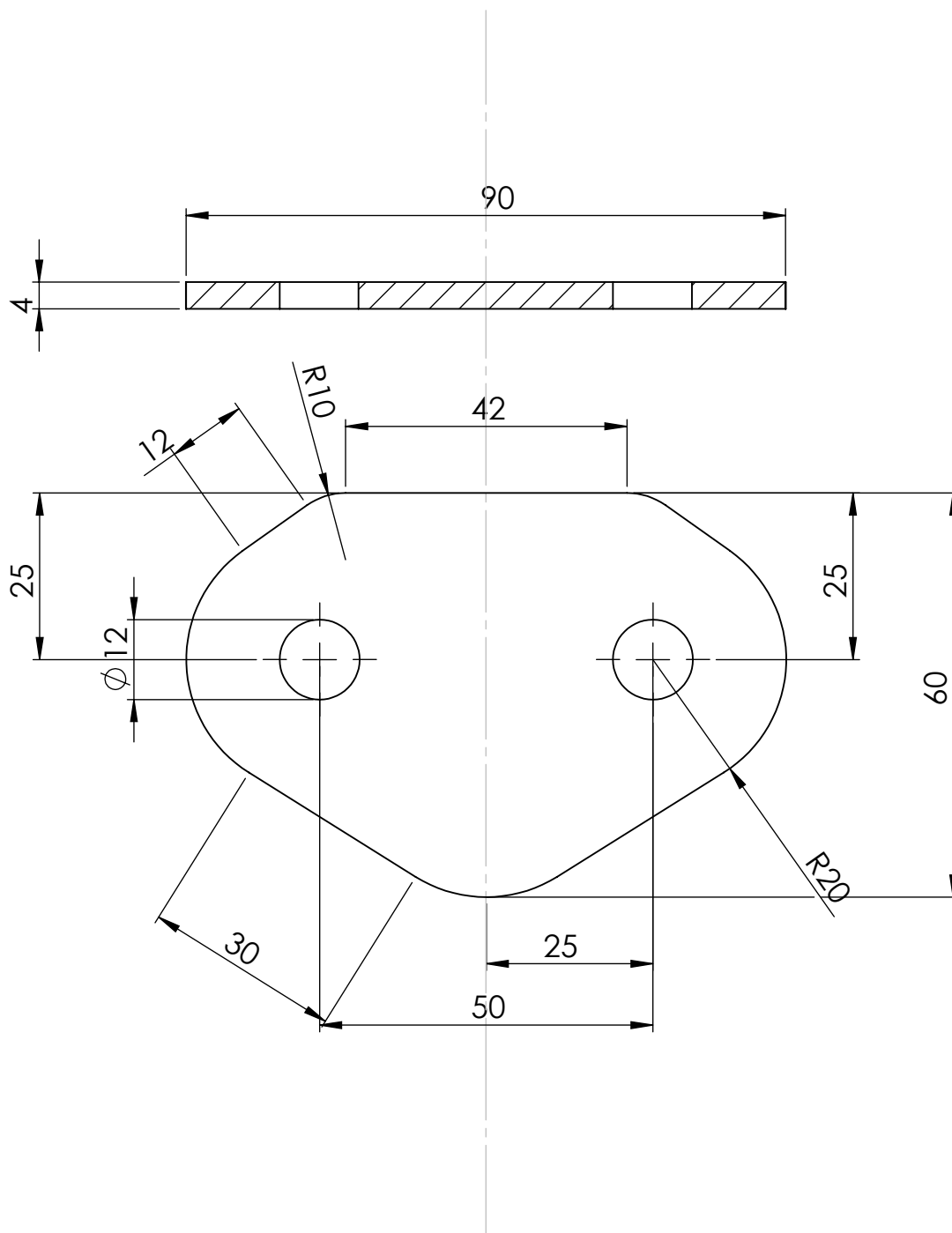
LISA A



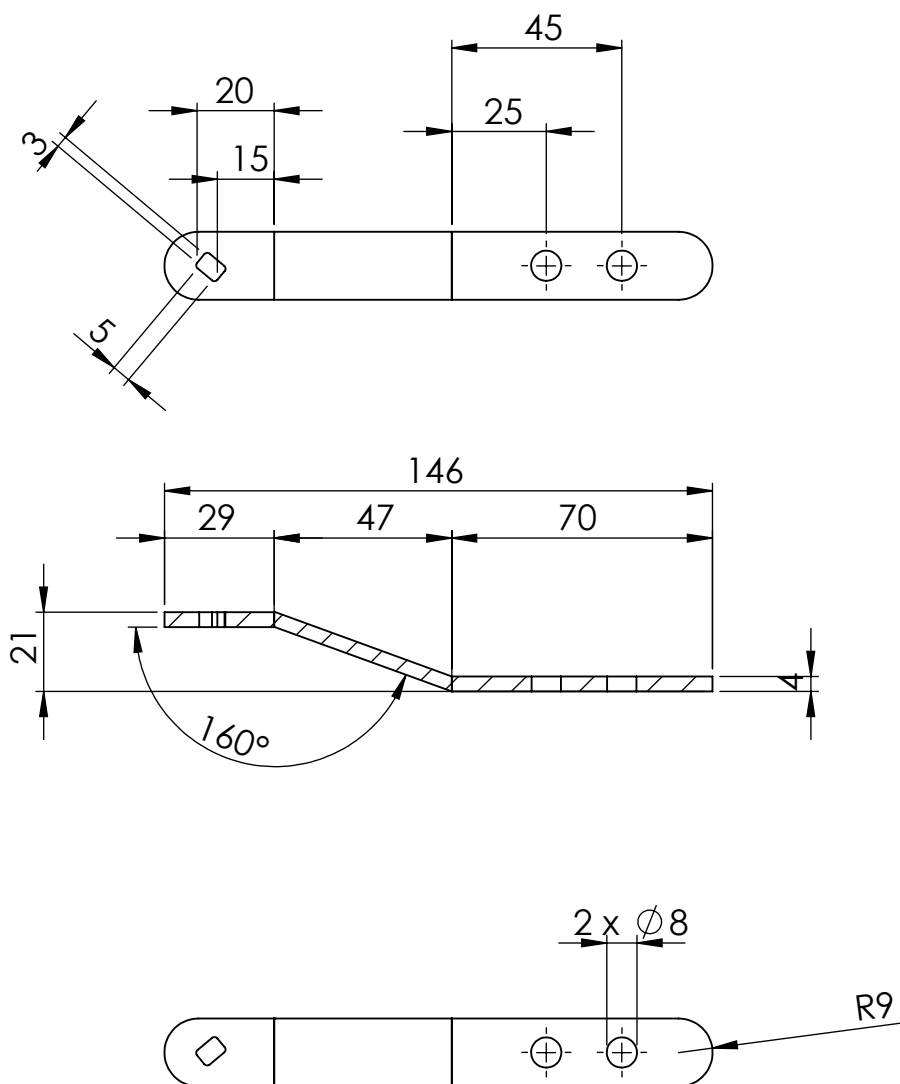
	Materjal Teras S235	Näitamata piirhálbed ISO 2768-m	Mass 900g	Mõõt 1:2
Teostas	Armand Pellja	Nimetus Hammasmodulaator		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas				
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College <small>www.emu.ee</small>		Leht 1/1	Tähis TN 17/130253 A 01 01 D	



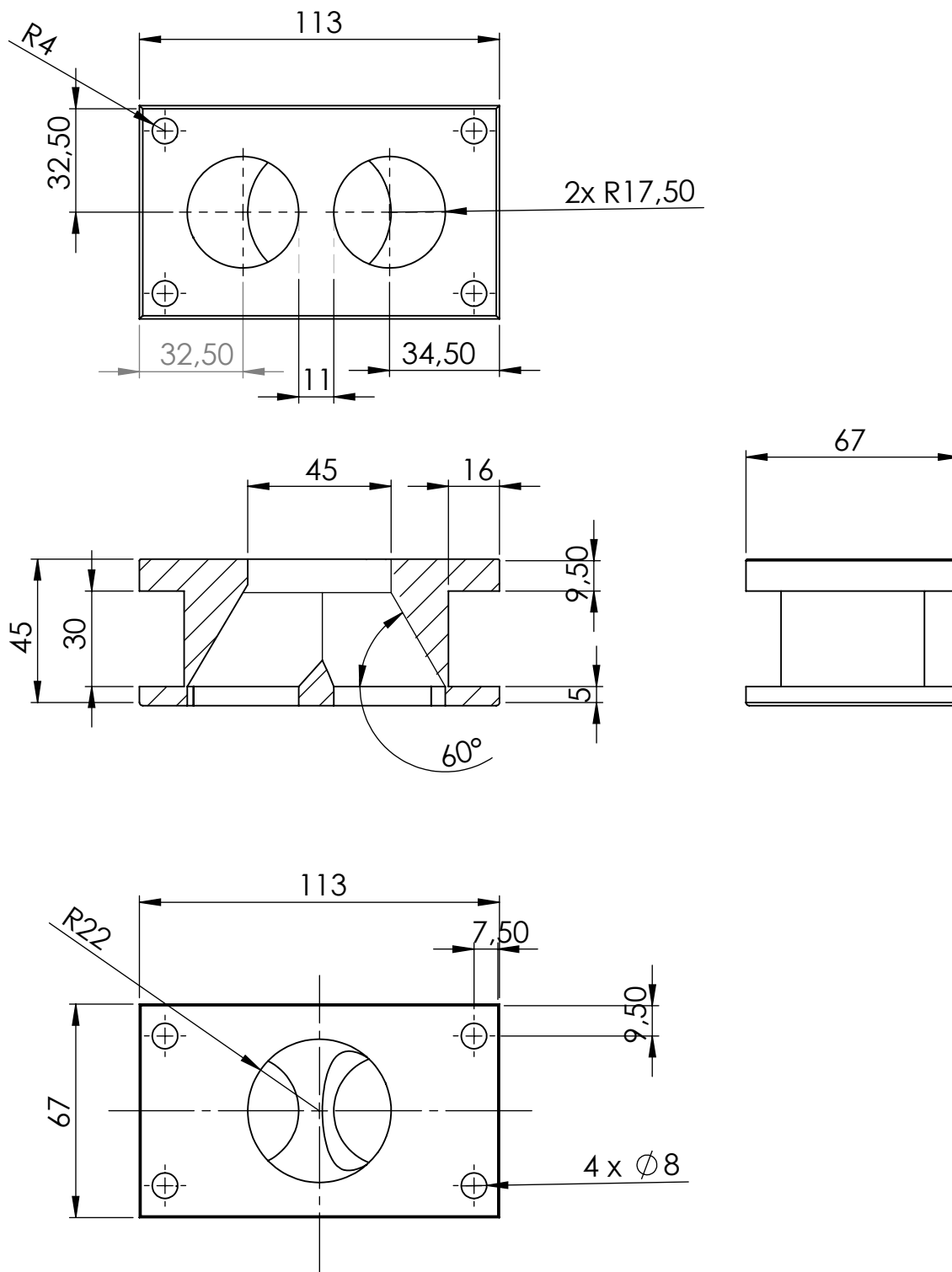
	Materjal Teras S235 (Lehtmaterjal 3mm)	Näitamata piirhälbed ISO2768-m	Mass 436g	Mõõt 1:5
Teostas	Armand Pellja	Nimetus Juhtmooduli kinnitusplaat		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas				
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht 1:1	Tähis TN17/130253 A 01 02 D	



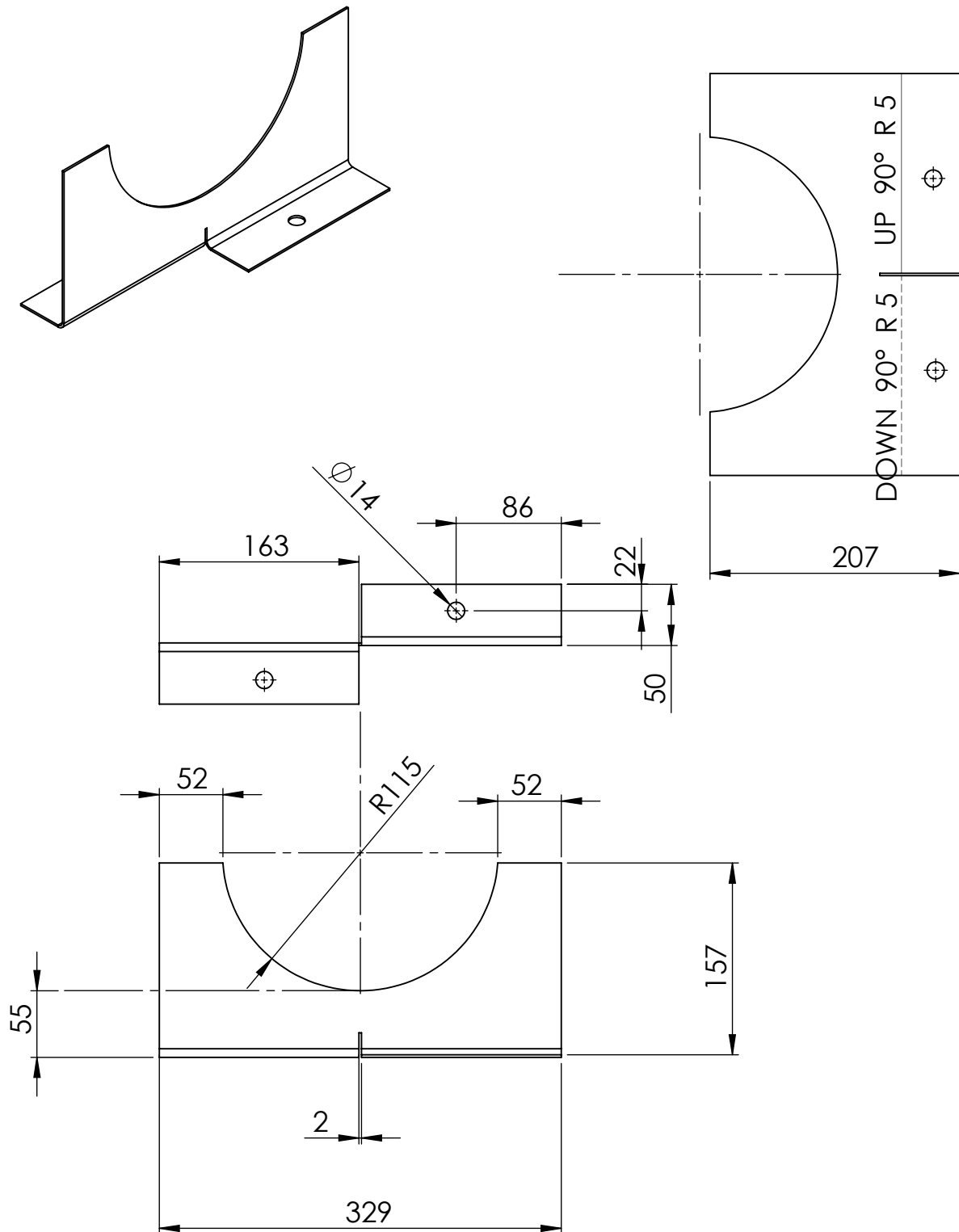
	Materjal	Alumiiniumsulam 6061 (Lehtmaterjal) 4mm	Näitamata piirhálbed	Mass	Mõõt
			ISO 2768-m	28g	1:1
Teostas	Armand Pellja	Nimetus Monopritsungi katteplaat			
Kontrollis	Risto Ilves				
Kinnitas					
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht	Tähis		
		1/1	TN 17/130253 A 01 03 D		



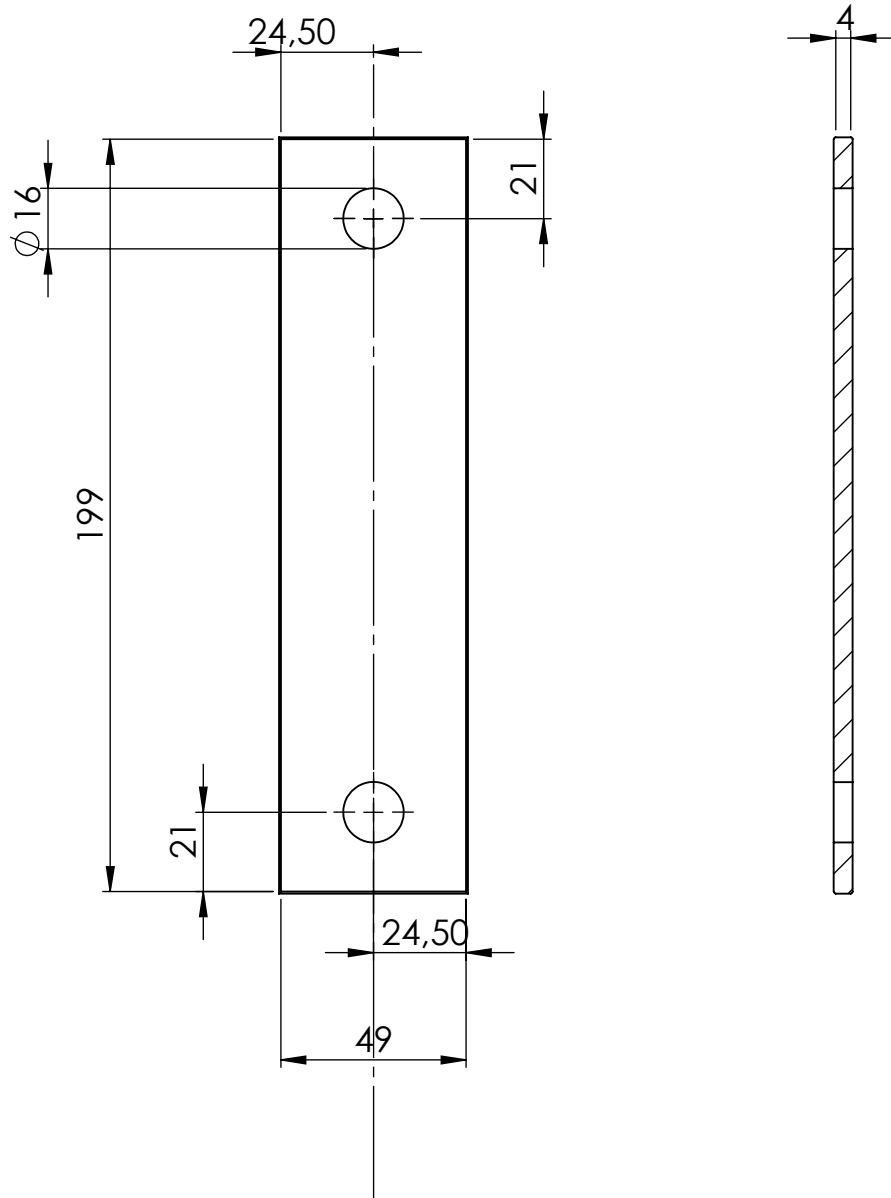
	Materjal Teras S235	Näitamata piirhálbed ISO 2768-m	Mass 141g	Mõõt 1:2
Teostas	Armand Pellja	Nimetus segusiibri hoob		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas				
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College	Leht 1/1	Tähis TN 17/130253 A 01 04 D		



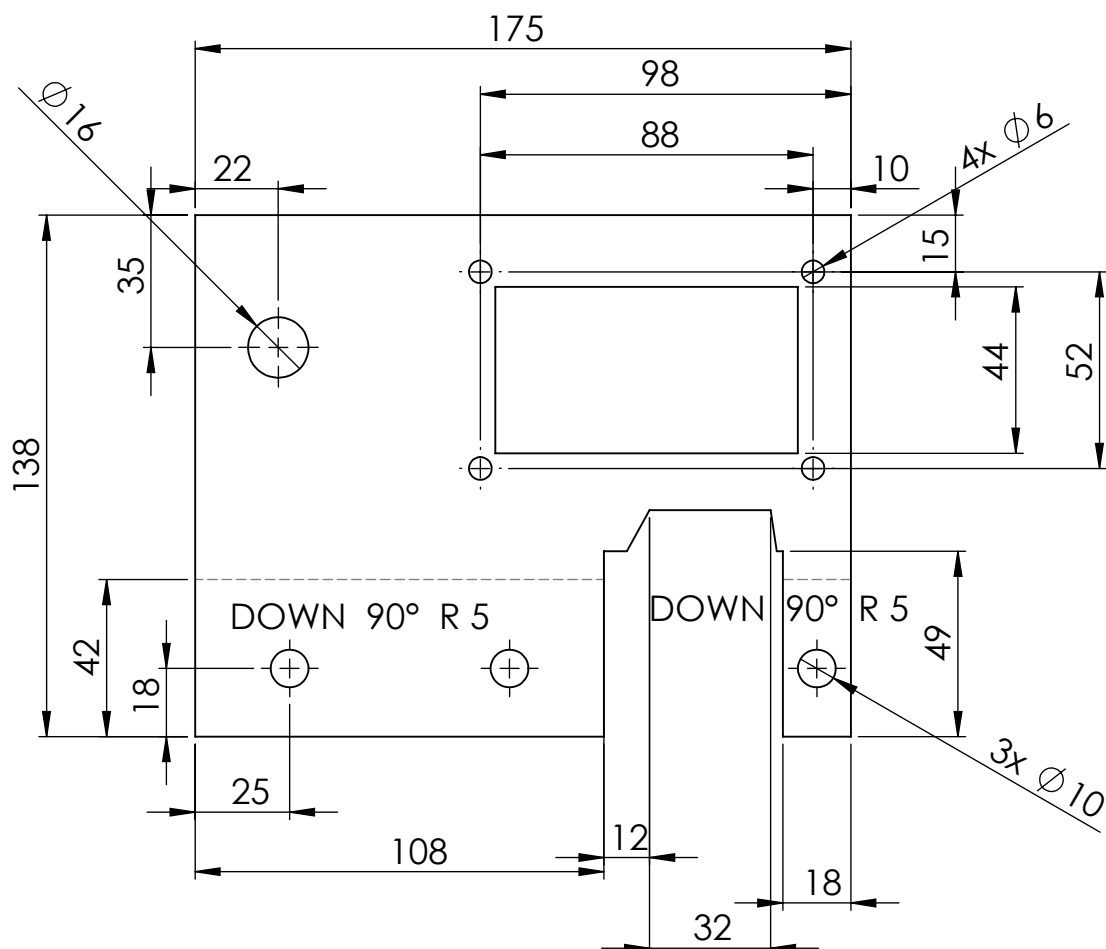
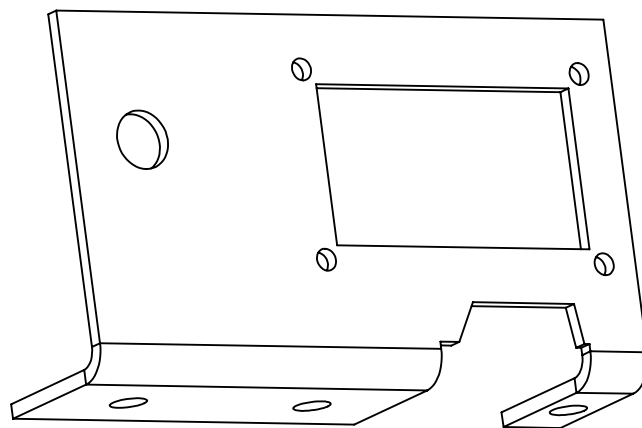
	Materjal Alumiinium Al6061	Näitamata piirhálbed ISO 2768-m	Mass 271g	Mõõt 1:2
Teostas	Armand Pellja	Nimetus Segusiibri vaheflants		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas				
		Leht 1/1	Tähis TN 17/130253 A 01 05 D	



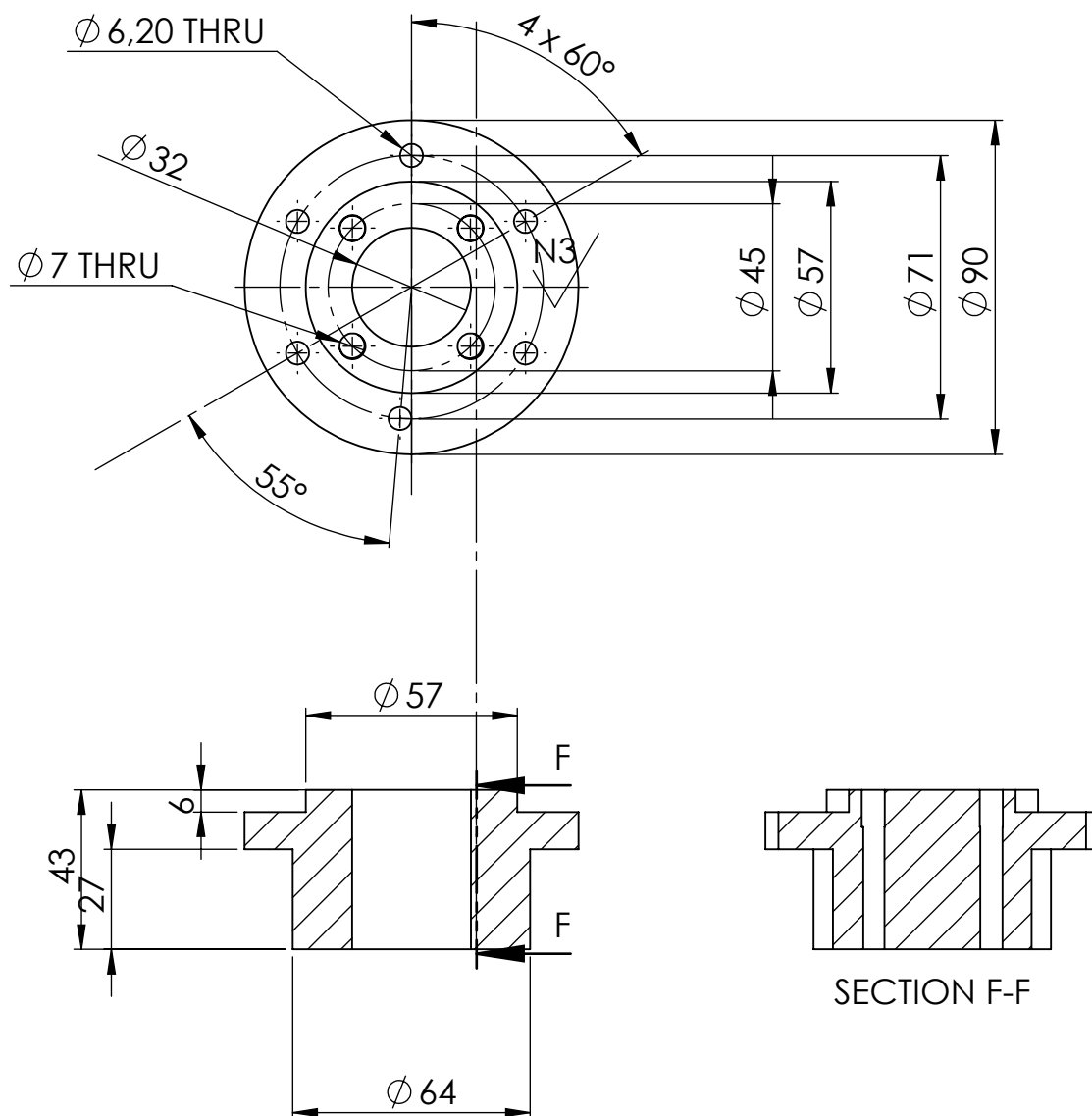
	Materjal Lehtmaterjal 3mm alumiiniumsulam Al6061		Näitamata piirhálbed ISO 2768-m	Mass 129g	Mõõt 1:5
Teostas	Armand Pellja	Nimetus Suruõhu paagi alus			
Kontrollis	Risto Ilves				
Kinnitas					
		Leht 1/1	Tähis TN17/130253 A 01 06 D		

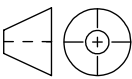



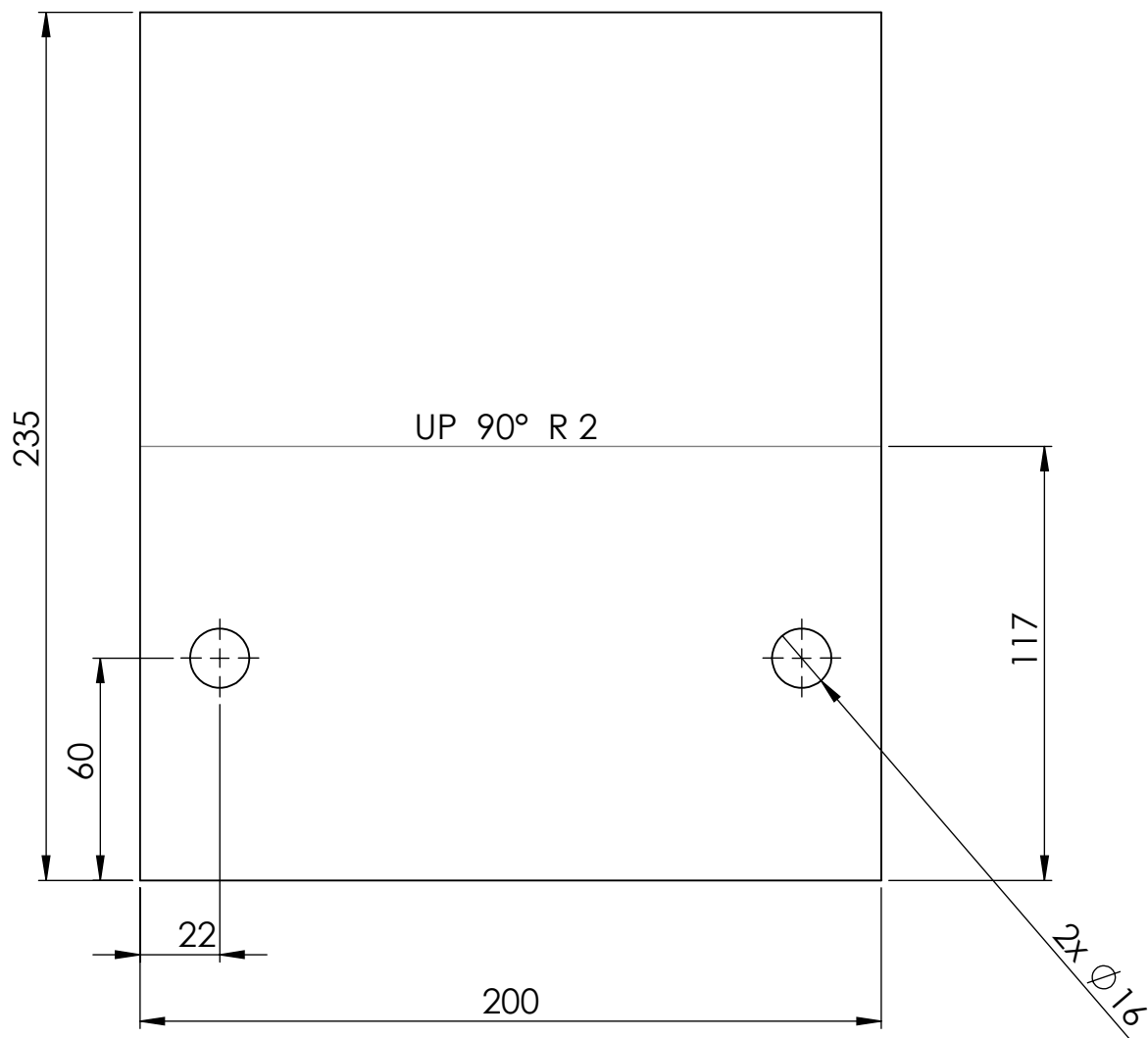
	Materjal Teras S235 (Lehtmaterjal 3mm)		Näitamata piirhälbed ISO 2768-m	Mass 121g	Mõõt 1:2
Teostas	Armand Pellja	Nimetus Suruõhu paagi kinnitusplaat			
Kontrollis	Risto Ilves				
Kinnitas					
		Leht 1/1	Tähis TN 17/130253 A 01 07 D		

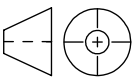



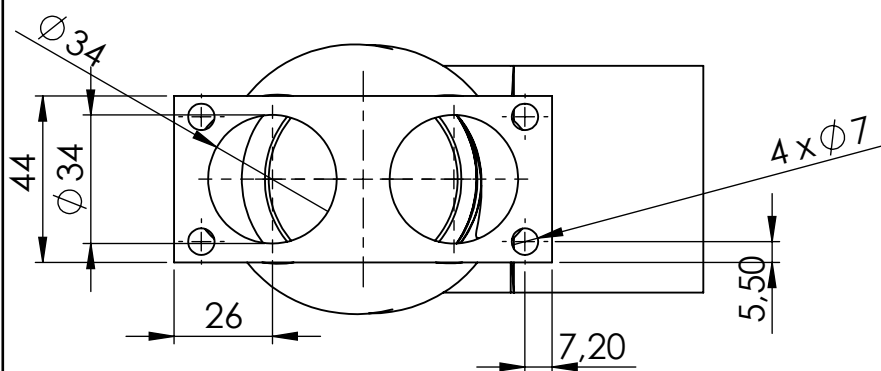
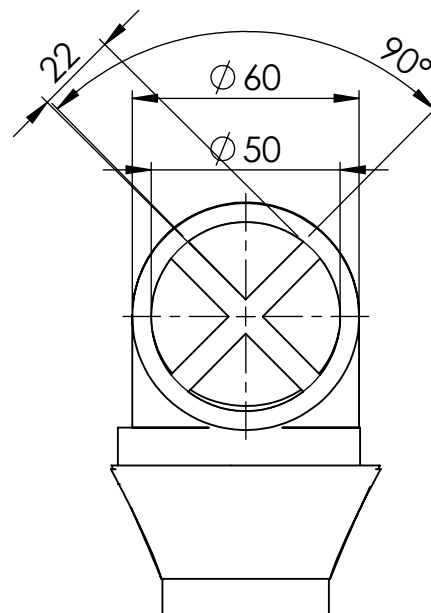
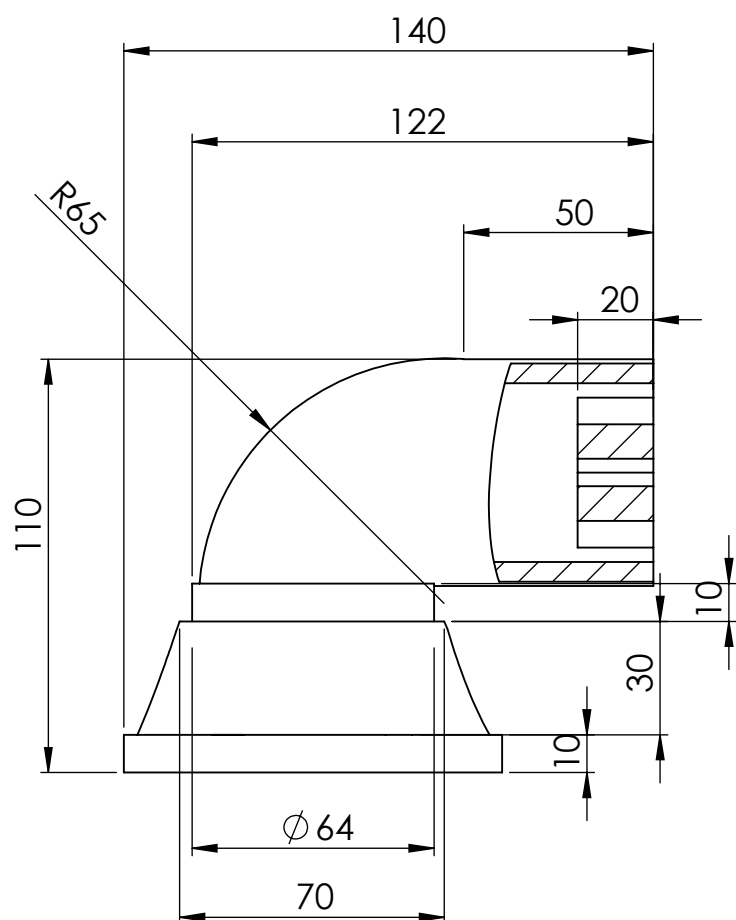
	Materjal Alumiiniumsulam Al6061 (Lehtmaterjal 4mm)		Näitamata piirhálbed ISO 2768-m	Mass 214g	Mõõt 1:2
Teostas	Armand Pellja	Nimetus SÜÜtepooli kinnituskronstein			
Kontrollis	Risto Ilves				
Kinnitas					
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht 1/1	Tähis TN17 /130253 A 01 08 D		

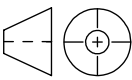



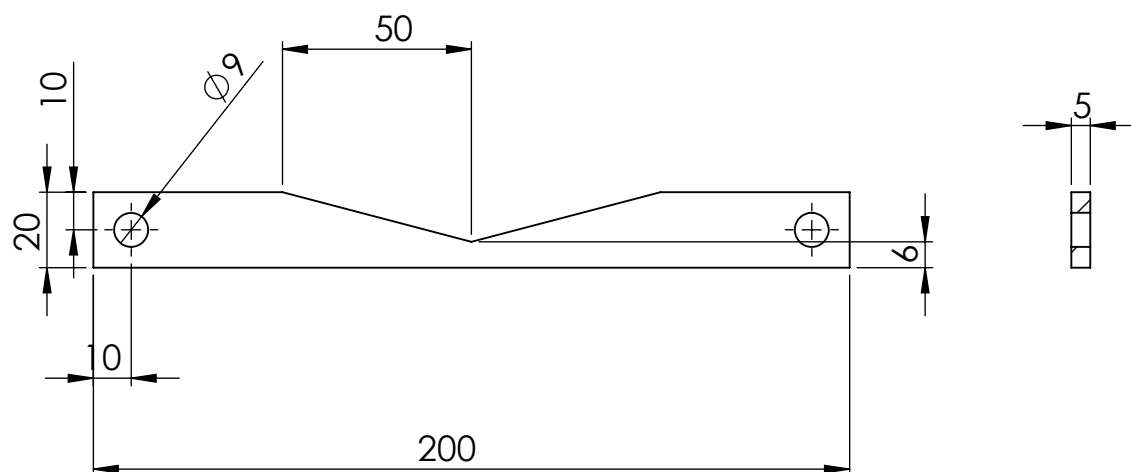
	Materjal Alumiinium Al6060		Näitamata piirhälbed ISO 2768-m	Mass 237g	Mõõt 1:2
Teostas	Armand Pellja	Nimetus Väntvõlli rihmaratta puks			
Kontrollis	Risto Ilves				
Kinnitas					
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht 1/1	Tähis TN17/130253 A 01 09 D		

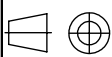



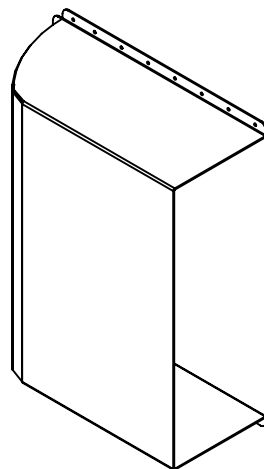
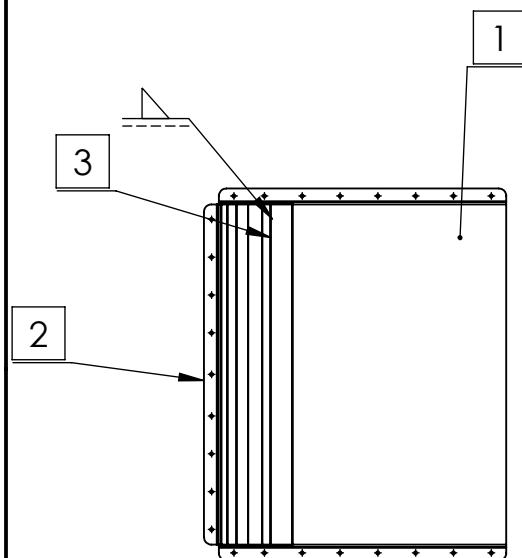
	Materjal Alumiiniumsulam AL6061 (lehtmaterjal 4mm)		Näitamata piirhálbed ISO 2768-m	Mass 167g	Mõõt 1:2
Teostas	Armand Pellja	Nimetus Suruõhu paagi kinnitusnurk			
Kontrollis	Risto Ilves				
Kinnitas					
 Eesti Maaülikool <small>Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College</small>		Leht 1/1	Tähis TN17 /130253 A 01 10 D		

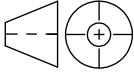



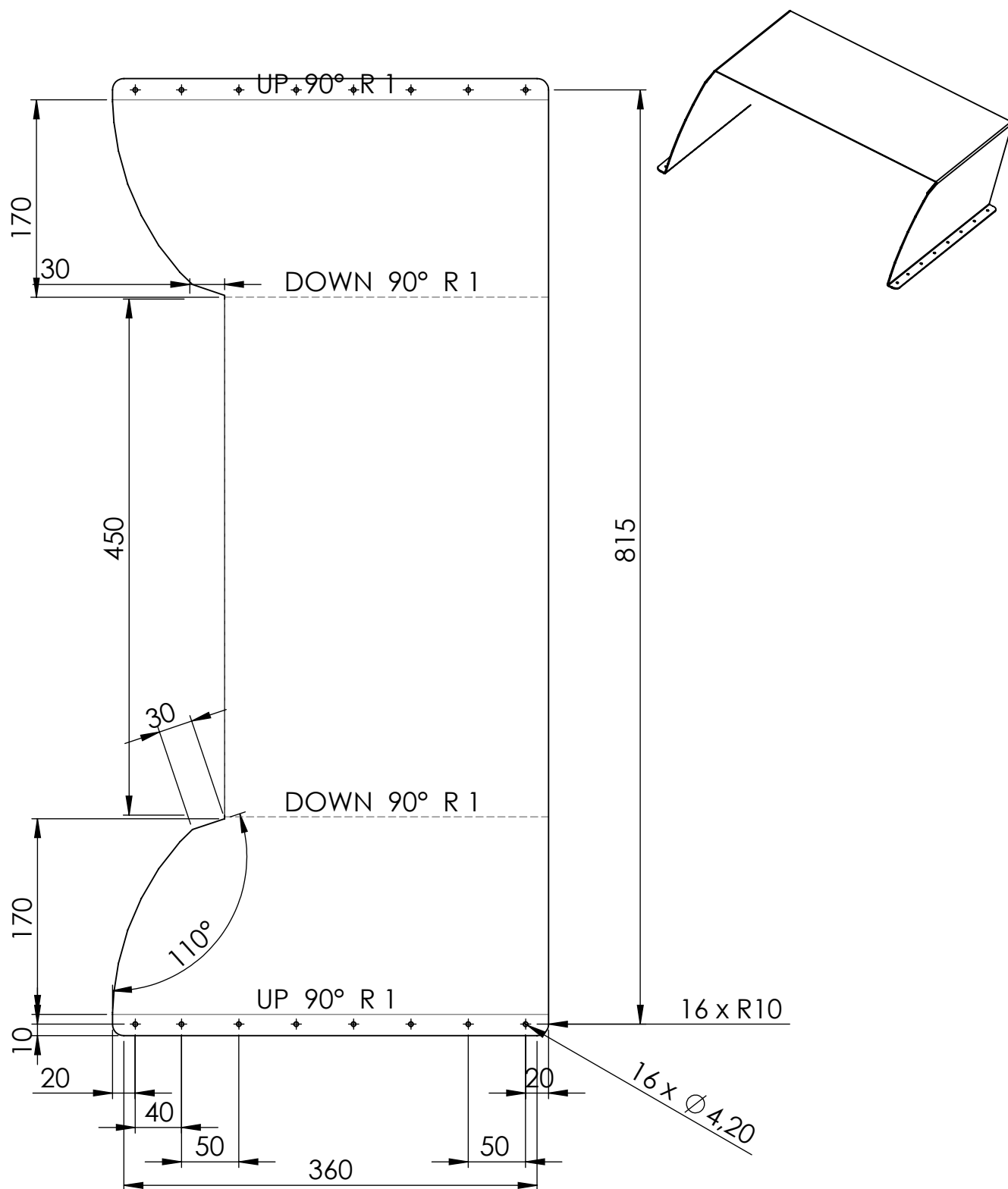
	Materjal Filament		Näitamata piirhälbed ISO 2768-m	Mass 87g	Mõõt 1:2
Teostas	Armand Pellja	Nimetus Õhufiltri vaheflants			
Kontrollis	Risto Ilves				
Kinnitas					
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht 1/1	Tähis TN17/130253 01 11 D		



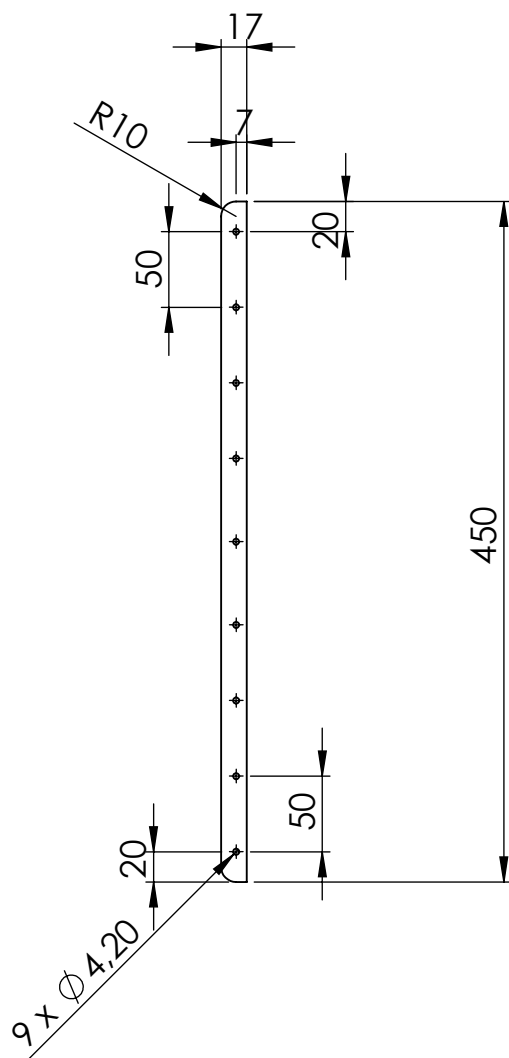
	Materjal Alumiiniumsulam AL6061 (lehtmaterjal 5mm)	Näitamata piirhálbed ISO 2768-m	Mass 98g	Mõõt 1:2
Teostas	Armand Pellja	Nimetus Gaasihoova flants		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas				
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht 1/1	Tähis TN17/130253 A 01 12 D	



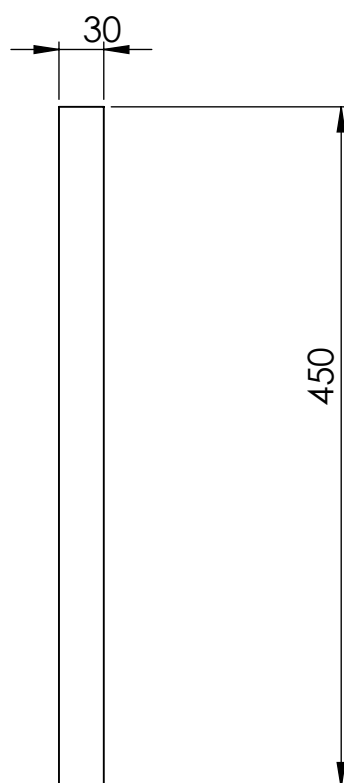
1		Õhuvõtu ava kattekorpus	TN17 /130253 A 01 01 13 D	1	
2		Õhuvõtu all keskel kinnitus	TN17 /130253 A 01 02 14 D	1	
3		Õhuvõtu keskmine raadiusplaat	TN17 /130253 A 01 03 15 D	7	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
	Materjal Alumiiniumsulam AL6060		Näitamata piirhälbed ISO 2768-m	Mass 561g	Mõõt 1:10
Teostas	Armand Pellja	Nimetus Õhuvõtu avakate koost			
Kontrollis	Risto Ilves				
Kinnitas					
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht 1/1	Tähis TN17 /130253 A 01 01 13 K		



	Materjal Alumiiniumsulam Al6061 Lehtmaterjal (3mm)	Näitamata piirhálbed ISO 2768-m	Mass 381g	Mõõt 1:10
Teostas	Armand Pellja	Nimetus Õhuvõtu katteava korpus		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas				
	Leht 1/1	Tähis TN17 /130253 A 01 01 14 D		

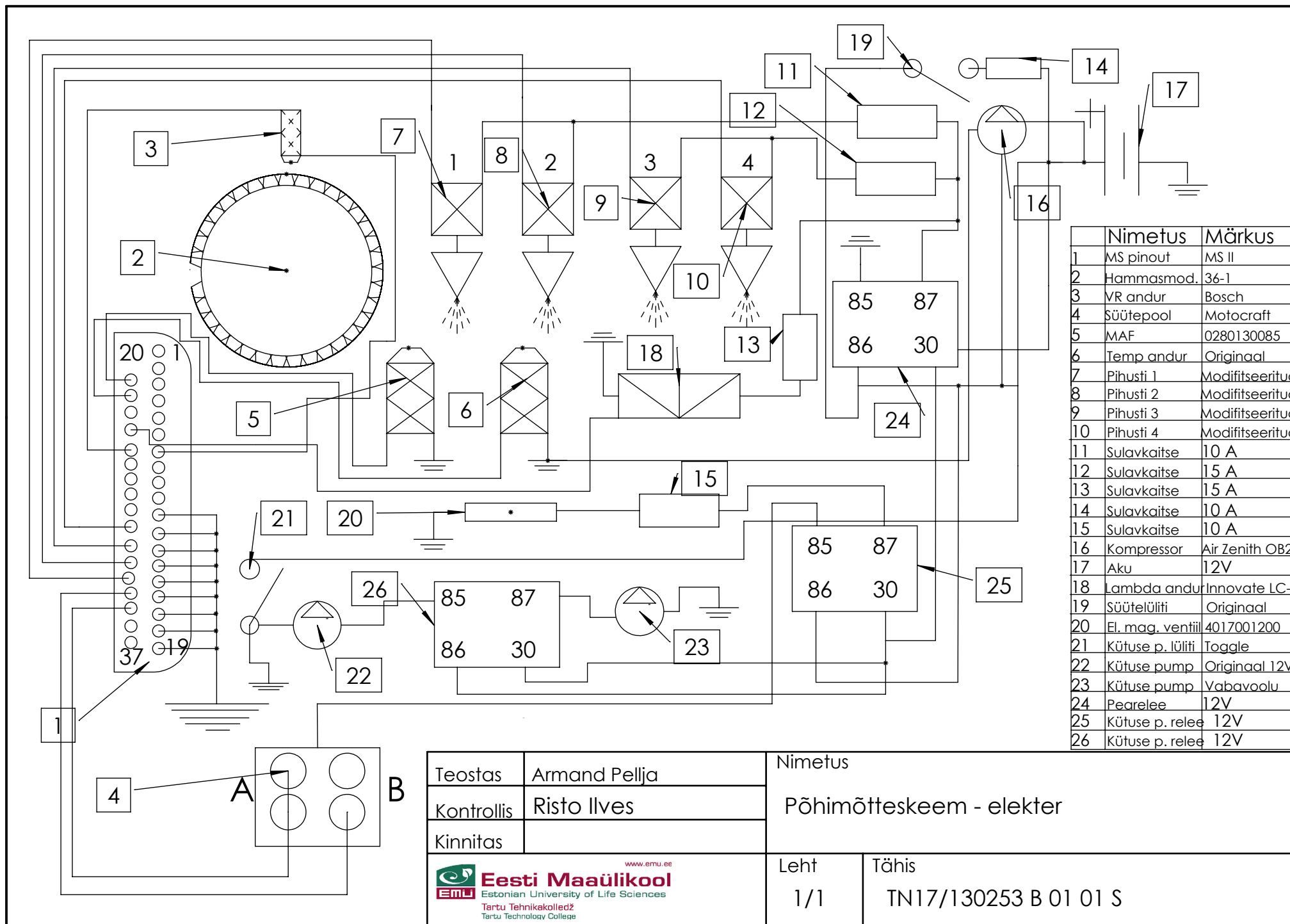


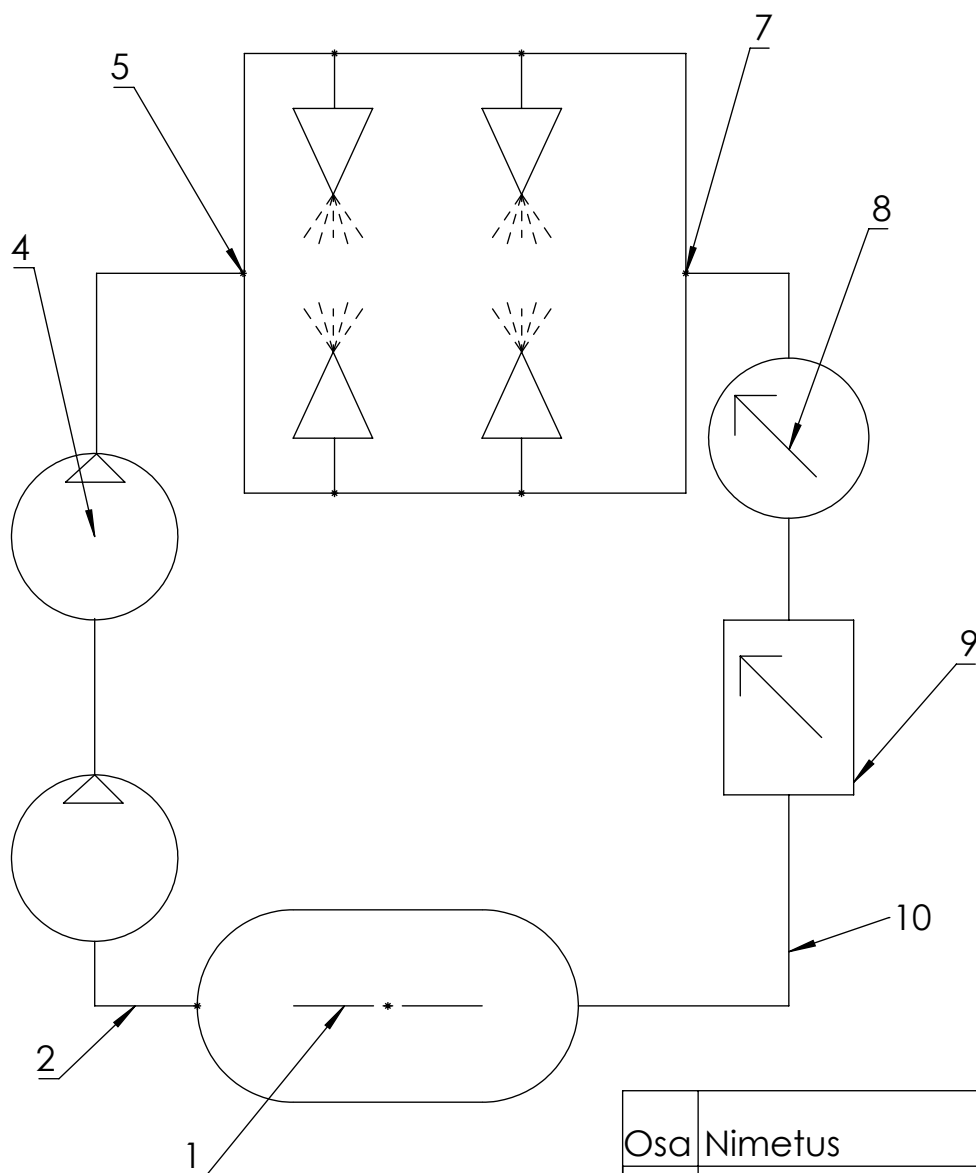
	Materjal Alumiiniumsulam Al6060 (lehtmaterjal 3mm)		Näitamata piirhálbed ISO2768-m	Mass 79g	Mõõt 1:5
Teostas	Armand Pellja	Nimetus Õhuvõtu katte alumine keskmine kinnitusplaat			
Kontrollis	Risto Ilves				
Kinnitas					
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht 1/1	Tähis TN17 /130253 A 01 02 15 D		



	Materjal Alumiinumsulam Al6061 (lehtmaterjal 3mm)	Näitamata piirhálbed ISO 2768-m	Mass 101g	Mõõt 1:5
Teostas	Armand Pellja	Nimetus Õhuvõtu katte keskmine katteplaat		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas				
Eesti Maaülikool <small>Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College</small>		Leht 1/1	Tähis TN17 /130253 A 01 03 16 D	

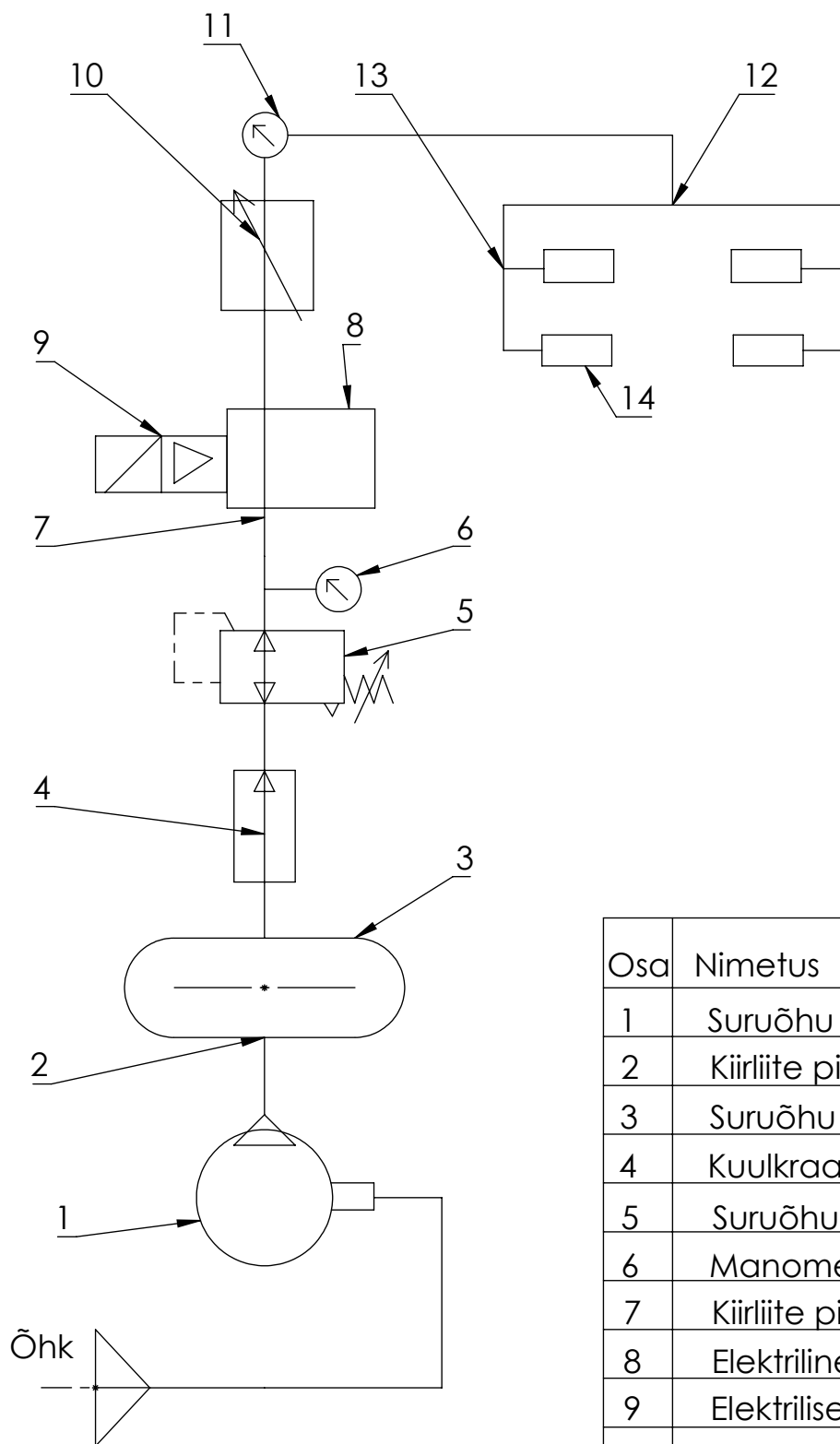
LISA B






Osa	Nimetus	Hulk
1	Kütusepaak	1
2	Kütuse pealevoolu trass	1
3	Orig. monopritse kütusepump	1
4	Vabavoolu kütusepump	1
5	Kolmik	1
6	Modifitseeritud pihusti	4
7	Kolmik	1
8	Manomeeter	1
9	Kütuserõhuregulaator	1
10	Kütuse tagasivoolu trass	1

Teostas	Armand Pellja	Nimetus Kütuseliini põhimõtteskeem	
Kontrollis	Risto Ilves		
Kinnitas			
		Leht 1/1	Tähis TN17/130253 B 01 02 S

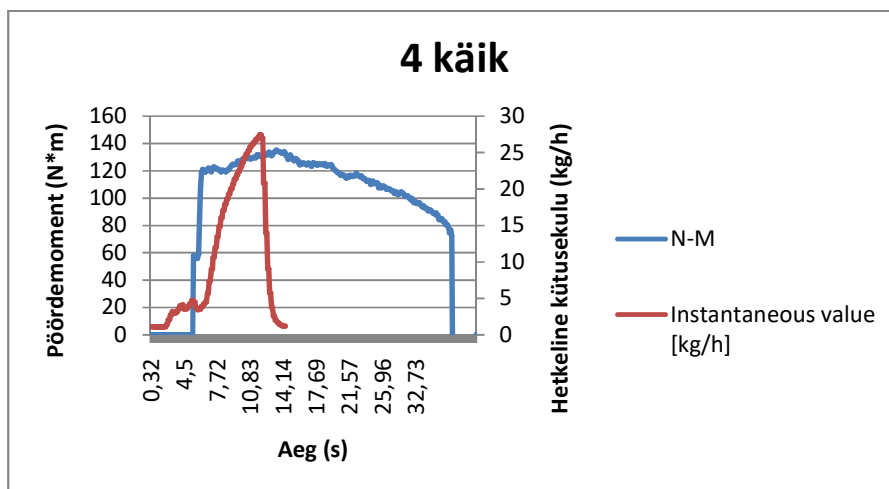
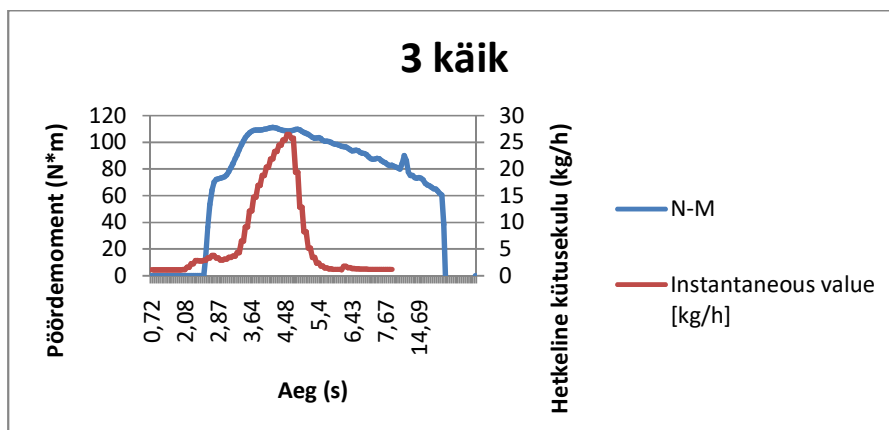
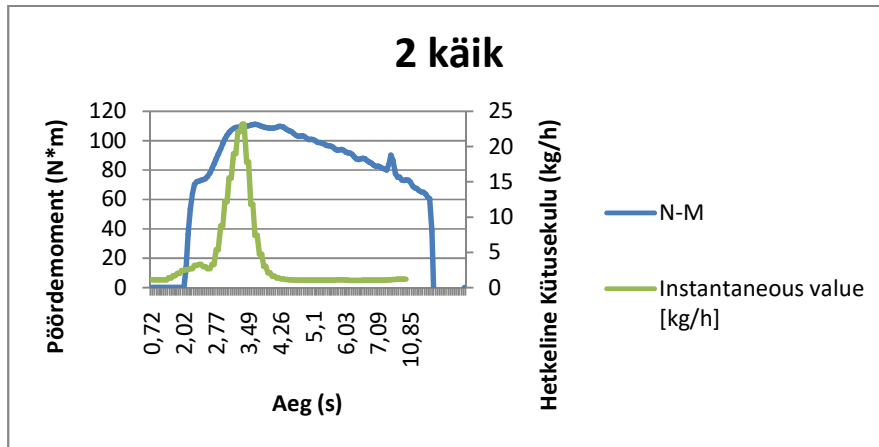


Osa	Nimetus	Hulk
1	Suruõhu kompressor	1
2	Kiirliite pistik	1
3	Suruõhu paak	1
4	Kuulkraan	1
5	Suruõhu rele	1
6	Manomeeter	1
7	Kiirliite pistik	1
8	Elektriline ventiil	1
9	Elektrilise ventiili mähis	1
10	Rõhuregulaator	1
11	Manomeeter	1
12	Suunatav kolmik	3
13	Suunatav nurk	3
14	Pihusti	4

Teostas	Armand Pellja	Nimetus	Suruõhu liini põhimõtteskeem
Kontrollis	Risto Ilves		
Kinnitas			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht	Tähis
		1/1	TN 17/130253 B 01 03 S

LISA C

Lisa C Effektiivsus-ja ökonoomsusparameetrite mõõtetulemused.



<u>Tühikäik</u> <u>880p/min</u>								
Õli temp (°C)	Pöörded (p/min)	Lambda	CO %vol	CO2 %vol	HC ppm vol	O2 %vol	NO ppm vol	Covrai %vol
85	880	2.751	1.174	2,51	1988	16,17	22	4,805
85	890	2.713	1.250	2,58	1969	16,24	23	4,896
85	880	2.629	1.333	2,77	1945	16,21	22	4,873
86	880	2.813	1.161	2,43	1919	16,27	21	4,85
86	880	2.694	1.315	2,7	1882	16,32	22	4,883
<u>koormus</u> <u>1500p/min</u>								
Õli temp (°C)	Pöörded (p/min)	Lambda	CO %vol	CO2 %vol	HC ppm vol	O2 %vol	NO ppm vol	Covrai %vol
86	1520	1,564	3,171	4,42	1780	11,4	29	6,266
86	1520	1,811	2,636	4,09	1637	12,91	30	5,879
86	1520	1,803	2,699	4,15	1623	12,97	27	5,911
86	1530	1,803	2,62	4,01	1611	12,94	29	5,928
86	1540	1,83	2,697	4,17	1605	12,45	28	5,966
<u>koormus 2500</u> <u>p/min</u>								
Õli temp (°C)	Pöörded (p/min)	Lambda	CO %vol	CO2 %vol	HC ppm vol	O2 %vol	NO ppm vol	Covrai %vol
89	2580	1,132	4,811	7,06	1407	7,28	56	6,079
91	2470	1,117	5,233	6,3	1378	6,82	58	6,798
92	2560	1,093	5,212	6,97	1344	6,55	58	6,418
93	2580	1,044	6,055	6,52	1343	6,34	58	7,233
93	2560	1,04	6,162	6,55	1345	6,31	58	7,393

<u>Koormus</u> <u>3000p/min</u>								
Õli temp (°C)	Pöörded (p/min)	Lambda	CO %vol	CO2 %vol	HC ppm vol	O2 %vol	NO ppm vol	Covrai %vol
98	3030	1,289	5,363	5,11	1048	9,57	48	7,681
99	2990	1,453	3,745	4,43	1015	9,5	59	6,872
99	2990	1,286	5,106	4,93	983	9,06	48	7,631
100	3020	1,307	4,974	4,974	958	9,2	46	7,511
101	3020	1,357	4,953	4,96	937	9,86	48	7,571

LISA D

Lisa D. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Armand Pellja

Sünniaeg 12.07.1994

, 1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
Pulverisaatortoitesüsteem mootorsõidukile

mille juhendaja on Risto Ilves, (juhendaja(te) nimi)

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____ (allkiri)

Tartu, 07.06.2017

Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev) _____